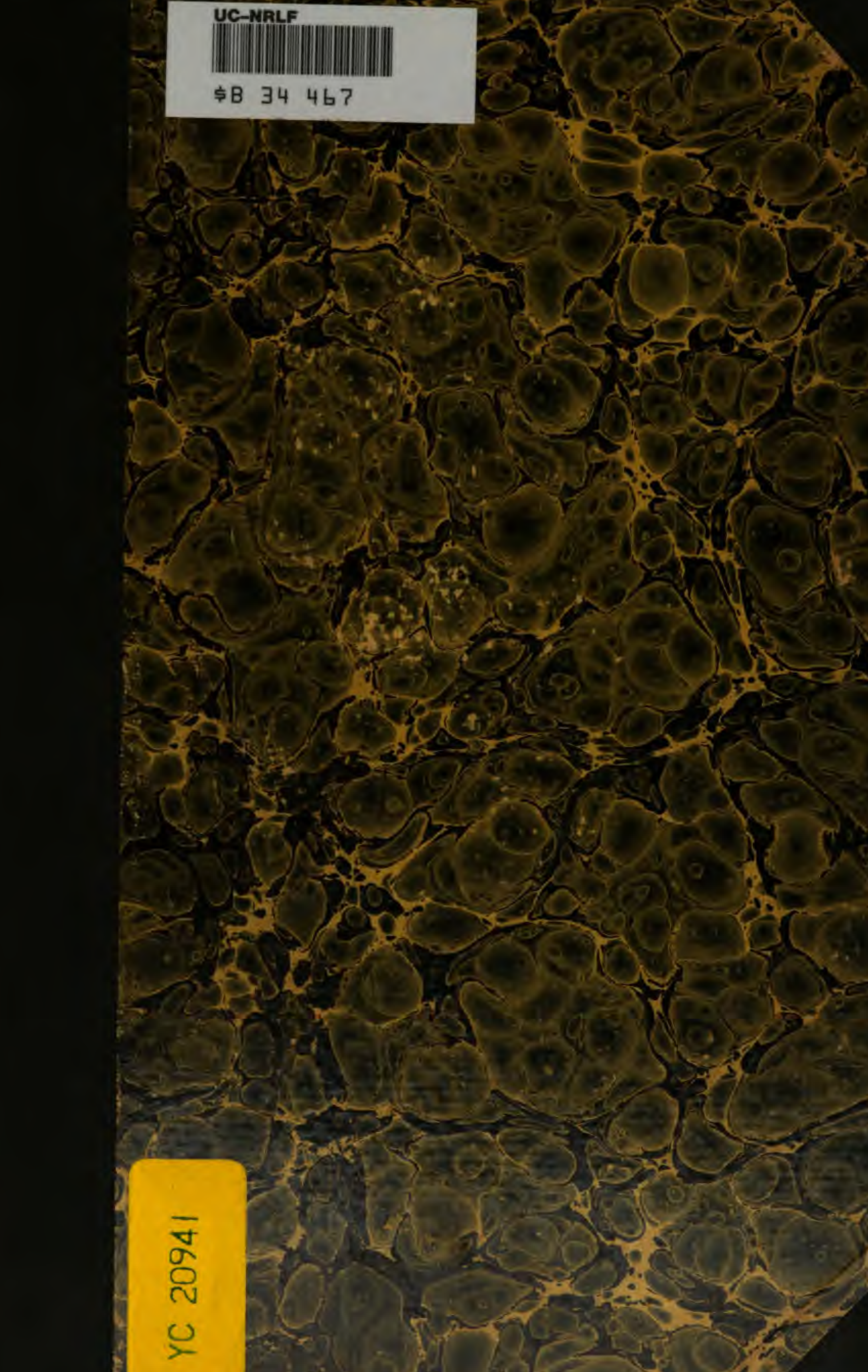
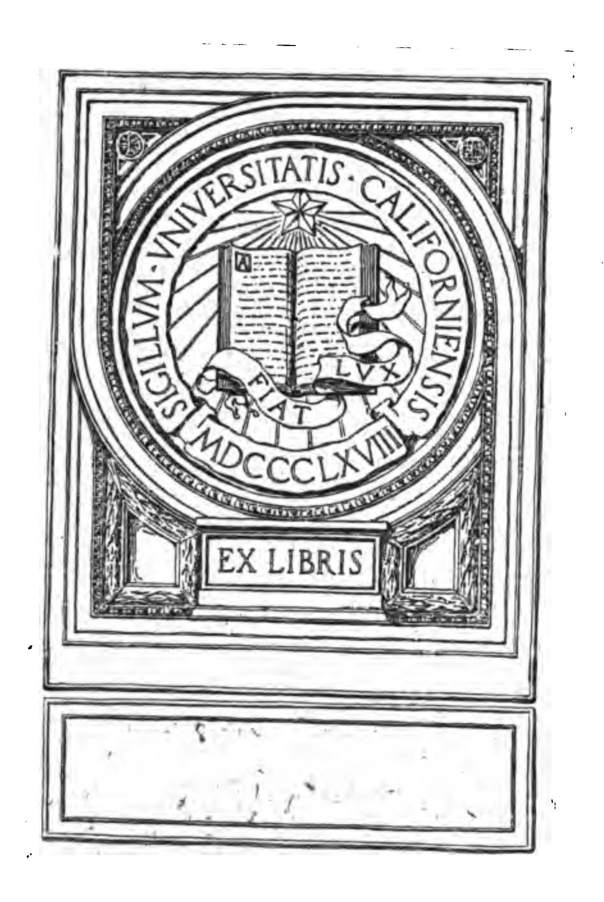
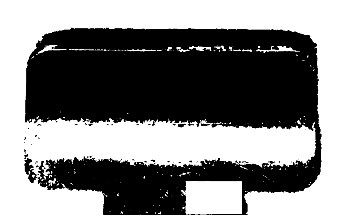
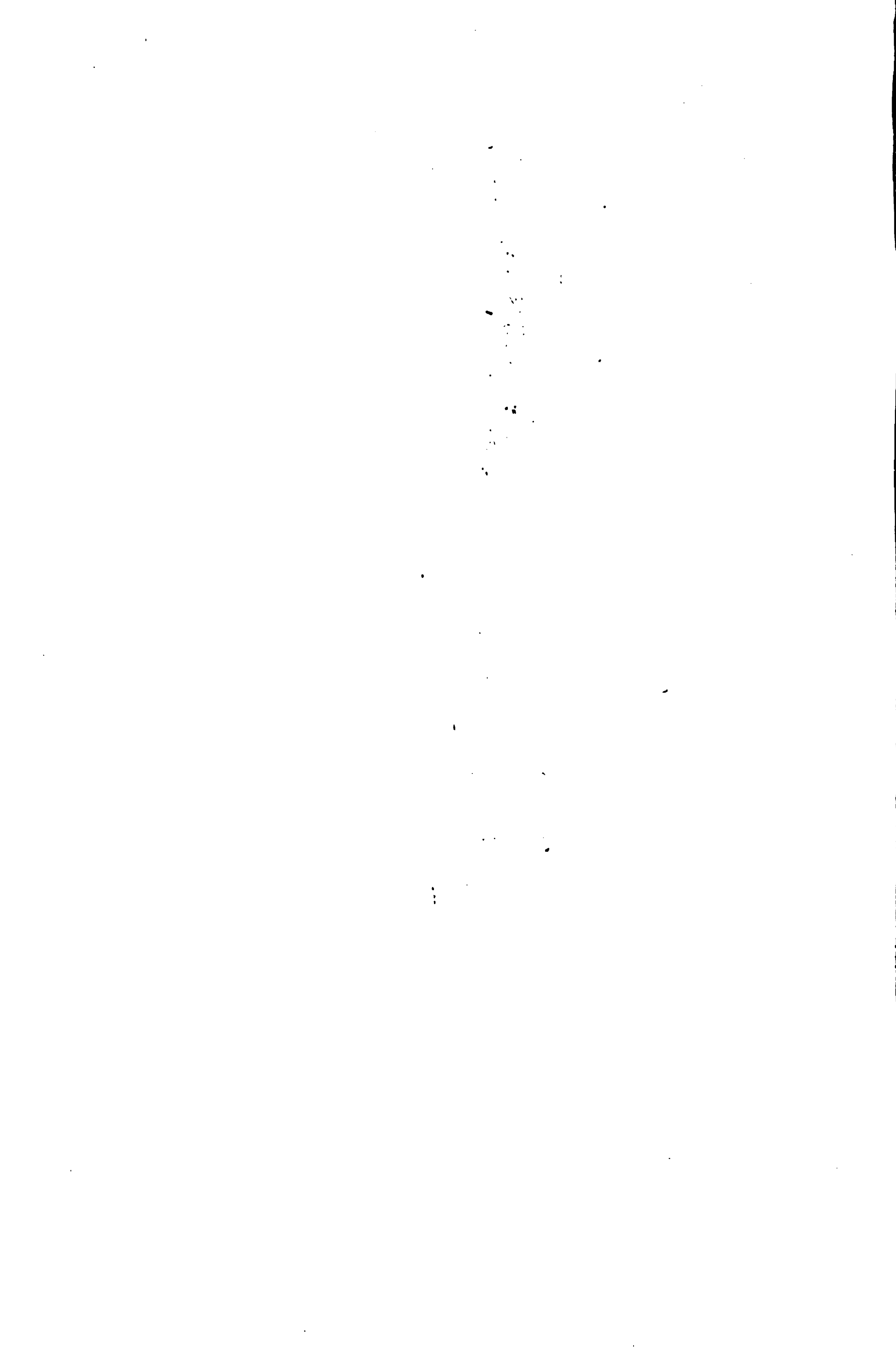



SIGILLVM · VNIVERSITATIS · CALIFORNIENSIS
FIAT LVX
MDCCCLXVIII
EX LIBRIS





Die

Kalk- und Magnesiadüngung.

Von

Dr. D. Meyer,

Stellvertreter des Vorstehers der agrikulturchemischen Versuchsstation Halle a. S.



Berlin.

Verlagsbuchhandlung Paul Parey.

Verlag für Landwirtschaft, Gartenbau und Forstwesen.

SW., Hedemannstraße 10.

1910.

Vorwort.

Je mehr die Landwirtschaft bestrebt ist, durch die intensivere Anwendung der künstlichen Düngemittel und durch eine zweckmäßige Sortenauswahl die Erträge des Bodens zu steigern, um so mehr verdienen auch diejenigen Maßnahmen Beachtung, welche diese Bestrebungen fördern helfen. Hierzu gehört in erster Linie eine rationelle Bodenkultur. Ein bedeutsamer Einfluß auf den ganzen Fruchtbarkeitszustand des Bodens kommt nun dem Kalk und im weiteren Sinne auch der Magnesia zu. Die Wirkung dieser Stoffe erstreckt sich nicht allein auf die Versorgung der verschiedenen Kulturpflanzen mit den unentbehrlichen Nährstoffen, sondern es findet auch ein weitgehender Einfluß auf den Boden und die einzelnen Bodenbestandteile statt. Daß hierdurch in letzter Linie auch das Wachstum der Kulturpflanzen wesentlich beeinflußt werden muß, ist naturgemäß. Wenn diese Erkenntnis erst in die weitesten Kreise gedrungen sein wird, wird man auch der Kalkdüngung ein größeres Interesse zuwenden, als dies bis jetzt noch vielfach der Fall ist. Zweifellos haben wir noch viele Gegenden, in denen die Landwirtschaft nicht mit Erfolg betrieben werden kann, wenn nicht die Kalkarmut der Böden durch Zufuhr von Kalk oder Mergel beseitigt wird. Daß eine solche Kalkarmut vorhanden, geht aus den zahlreichen Untersuchungen der Versuchsstationen hervor. Auch an Magnesia kann nach neueren Beobachtungen ein Mangel eintreten. Es soll nun im nachfolgenden die Bedeutung des Kalkes und der Magnesia für die gesamte Bodenkultur und die zweckmäßige Anwendung dieser Stoffe näher dargelegt werden. Möge diese Schrift dazu beitragen, die Kalk- und Magnesiadüngung fördern zu helfen.

Halle a. S., im Februar 1910.

D. Meyer.



Inhalt.

A. Die Bedeutung des Kalkes und der Magnesia für die Pflanzenernährung und das Kalk- und Magnesiabedürfnis der verschiedenen Kulturpflanzen.

1. Die Aufgaben des Kalkes und der Magnesia in der Pflanze.

Die Samen unserer meisten Kulturpflanzen sind im Vergleich zum Gehalt an den übrigen Nährstoffen außerordentlich kalkarm. Es enthalten z. B. nach Stutzer[1]):

	Kalk %	Magnesia %	Stickstoff %	Phosphorsäure %	Kali %
Roggen	**0,05**	**0,20**	1,80	0,85	0,60
Weizen	**0,05**	**0,20**	1,90	0,80	0,50
Gerste	**0,06**	**0,20**	1,43	0,80	0,70
Hafer	**0,10**	**0,13**	1,60	0,70	0,50
Erbse	**0,11**	**0,19**	3,65	1,00	1,25
Ackerbohne . .	**0,15**	**0,22**	4,08	1,21	1,29
Wicke	**0,22**	**0,24**	4,40	0,99	0,80
Lupine	**0,28**	**0,45**	4,80	1,42	1,14
Raps	**0,55**	**0,46**	3,12	1,66	0,96

Mit Ausnahme des Rapses weisen die übrigen Samen somit einen sehr niedrigen Kalkgehalt auf. Selbst der Magnesiagehalt ist nicht nur bei den Getreidearten, sondern auch bei den Leguminosen durchweg ein höherer als der Gehalt an Kalk. Infolge der geringen Kalkmengen nun, welche in den Samen abgelagert sind, bedarf die Pflanze schon im ersten Jugendstadium einer gewissen Menge leicht aufnehmbaren Kalkes im Boden. So zeigen die Untersuchungen von Böhm, daß die in den Samen der Feuerbohne enthaltenen mineralischen Nährstoffe, insbesondere der Kalk, nicht ausreichen, um die ganze Menge der darin abgelagerten organischen Reservenahrung zum Aufbau der Organe der Keimpflanzen verwenden zu können; dieselben gingen an Kalkmangel

[1]) Mentzel und v. Lengerke, Landw. Kalender 1910.

zugrunde. Auch aus den Untersuchungen von v. Liebenberg[1]) geht hervor, daß eine Zufuhr von Kalk schon bei der ersten Keimung für die meisten Samen notwendig ist. Ein mit keimenden Erbsenpflanzen ausgeführter Versuch ergab z. B. folgendes Resultat:

	Stengel (mittlere Länge) cm	Wurzel (mittlere Länge) cm
Kalkfreie Lösungen:		
Destilliertes Wasser	5,6	7,1
Schwefelsaure Magnesia	3,5	3,0
Salpetersaures Kali	4,1	3,6
Phosphorsaures Kali	4,3	5,6
Kalkfreie Nährlösung nach Knop	3,6	3,7
Kalkhaltige Lösungen:		
Leitungswasser	34,9	19,1
Salpetersaurer Kalk	29,3	18,5
Vollständige Nährlösung nach Knop	27,4	25,4

Während somit Stickstoff, Phosphorsäure und Kali einen günstigen Einfluß auf die erste Entwicklung nicht gezeigt haben, hat der Kalk dieselbe außerordentlich gefördert.

Auch aus den Untersuchungen von Bruch[2]), die mit Weizenkeimpflanzen ausgeführt wurden, geht der fördernde Einfluß des Kalkes auf die erste Entwicklung deutlich hervor. Es zeigten nach 8 Tagen 20 Keimpflanzen eine Länge von:

Nährlösung	Blätter cm	Wurzeln cm
ohne Kalk	231,5	82,5
mit Kalk	277,5	182,0

Bei den in kalkfreier Nährlösung gezogenen Pflanzen waren sowohl die Wurzelhaube wie auch die unter der Epidermis gelagerten Zellen des Zentralzylinders bereits abgestorben. Die Blätter der kalkfreien Pflanzen zeigten einen größeren Gehalt an saurem Kaliumoxalat wie auch an Stärke.

Über die Aufgaben nun, welche der Kalk in der Pflanze zu erfüllen hat, gehen die Ansichten der einzelnen Forscher recht weit auseinander. Nach Holzner[3]) soll dem Kalk in erster Linie die Aufgabe zufallen, der Pflanze zum Zwecke der Eiweißbildung die Phosphor- und Schwefelsäure zuzuführen, welche Salze dann von der Oxalsäure zerlegt werden, um für die Bildung der Stickstoffverbindungen verwertet werden zu können.

[1]) Nach Orth, Anleitung zur Anwendung von Kalk und Mergel. Berlin 1896.

[2]) Zur physiologischen Bedeutung des Kalziums in der Pflanze. Arb. der Akademie Bonn-Poppelsdorf. Landw. Jahrbücher 1903. Erg.-Bd.

[3]) Flora 1864 und 1867. Nach Orth a. a. O.

Von v. Raumer[1]) und Kellermann ist dann später auf die engen Beziehungen des Kalkes zu den Kohlehydraten hingewiesen worden. Ob der Kalk hierbei die Lösung der Stärke oder den Transport derselben bedinge, konnte jedoch nicht näher ermittelt werden.

Eine weitere Aufgabe des Kalkes innerhalb der Pflanze soll in der Neutralisation der organischen Säuren, besonders der sich in reichlichem Maße bildenden Oxalsäure liegen (Schleiden, v. Mohl, Liebig, Schimper). So konnte Schimper beobachten, daß in kalkfreien Lösungen gezogene Keimlinge den Eindruck machten, als ob sie an Vergiftung zugrunde gingen, während durch Zufuhr von Kalk diese Erscheinung wieder beseitigt werden konnte. Über die bei Mangel an Kalk durch die gebildete Oxalsäure auftretenden Vergiftungserscheinungen sind auch von Loew[2]) weitere Untersuchungen ausgeführt worden. Loew beobachtete, daß bei chlorophyllführenden Gewächsen die Giftwirkung der Oxalsäure und sauren oxalsauren Salze allgemein eintrat, nicht dagegen bei den Sproß-, Schimmel- und Spaltpilzen[3]). Im Gegensatze hierzu konnte bei Verwendung von schwefelsaurem und weinsaurem Kali diese Beobachtung nicht gemacht werden. Loew folgert daraus, daß die Kalksalze eine wichtige Rolle im Zellkern und in den Chlorophyllkörpern spielen. Bei Kalkmangel und Gegenwart von löslichen oxalsauren Salzen sollen die Kalkverbindungen des Zellkerns angegriffen und das Quellungsvermögen der lebenden Materie verändert werden, was eine Strukturstörung des lebenden Plasmas bedinge. Daß aber in der Beseitigung der Giftwirkung löslicher organischer Säuren bzw. ihrer Salze durch den Kalk die Bedeutung desselben im Lebensprozeß der Pflanze nicht erschöpft sein kann, geht aus den Untersuchungen von Bruch[4]) hervor. Während z. B. Elodea canadensis schon durch 0,01%ige Lösung von Oxalsäure bzw. saurem oxalsaurem Kali bald abstarb, konnte beim Weizen eine Menge von 0,18 g pro Liter nicht nur ohne Nachteil angewandt werden, sondern es wurde hierdurch das Wachstum nicht unerheblich gefördert. Die Oxalsäure war hierbei bis auf Spuren von den Pflanzen aufgenommen worden. Bei oxalsaurem Kalk gedieh der Weizen ebensogut wie bei schwefelsaurem Kalk. Auch nach den Untersuchungen von Portheim[5]) ließ sich ein direkter Nachweis einer Oxalsäurevergiftung nicht erbringen.

---

[1]) Landw. Versuchsstat. Bd. 25 u. 29.

[2]) Die Bedeutung der Kalk- und Magnesiasalze in der Landwirtschaft. Landw. Versuchsstat. Bd. 41.

[3]) Diese sowohl, wie auch viele niedere Algen brauchen zu ihrer Entwicklung bekanntlich keinen Kalk.

[4]) A. a. O.

[5]) Über die Notwendigkeit des Kalkes für Keimlinge. Jahresber. f. Agrikulturchemie 1901.

Bei der Magnesia hat sich nun im allgemeinen bei der Keimung und ersten Entwicklung der Pflanzen ein Mangel nicht gezeigt. Dies muß darauf zurückgeführt werden, daß einmal der Gehalt der meisten Samen an Magnesia ein erheblich höherer ist als der Kalkgehalt, und daß anderseits der Magnesiabedarf der jungen Pflanzen nur ein relativ geringer ist. Die Magnesia ist ein beständiger Begleiter der Phosphorsäure und findet sich daher meistens in der Hauptsache dort abgelagert, wo die größten Mengen Phosphorsäure aufgespeichert werden. Nach Loew[1]) besteht die Funktion der Magnesiasalze darin, nach Umwandlung in sekundäres Phosphat die Bildung von Nuklein und Plastin für Zellkern und Chlorophyllkörper[2]) zu ermöglichen. Die Magnesiasalze unterliegen nach Loew leichter der Dissoziation als die Kalksalze. Besonders soll das sekundäre Magnesiumphosphat dem entsprechenden Kalkphosphat in der Pflanze insofern überlegen sein, als ersteres weit löslicher und somit auch wanderungsfähiger ist wie das entsprechende Kalkphosphat und ferner auch seine Phosphorsäure zum Teil leichter abgibt.

Im Gegensatz zu der Wirkung der Natron- und Kalisalze soll nach Loew nun ein Überschuß an löslichen Magnesiasalzen ein vorzeitiges Absterben der jungen Keimpflanzen und somit eine ähnliche Giftwirkung bewirken wie lösliche oxalsaure Salze. Nur bei Gegenwart genügender Kalkmengen trat die Giftwirkung nicht hervor. Loew folgert hieraus: „Ein so notwendiger Bestandteil der Pflanzennahrung auch Magnesiasalze sind, wirken sie doch bei einem gewissen Überschusse schädlich, wie kein anderes Nährsalz. Ist zu viel Magnesia im Verhältnis zum Kalk vorhanden, so ist eine pathologische Wurzelentwicklung oder baldiger Tod der Wurzeln die Folge, ist aber zu wenig vorhanden, so wird die Entwicklung der Pflanzen verzögert. Dort treten Gift-, hier Hungersymptome auf."

Diese Schlußfolgerung konnte nun aus Versuchen, welche Bruch[3]) nach dieser Richtung hin ausführte, nicht gezogen werden. Die Wirkung der in Form von Sulfat, Nitrat oder Karbonat gegebenen Magnesia war bei allen Versuchen eine fast übereinstimmende; die Wurzeln stellten ihr Wachstum in kalkfreier Nährlösung bald ein, aber die oberen Teile entwickelten sich völlig normal und gelangten nach vier Wochen mit Entwicklung des siebenten Blattes zur Blüte. Auch Gössel[4]) fand die Loewschen Ergebnisse nicht bestätigt. Die Versuche ergaben sogar,

---

[1]) A. a. O.

[2]) Nach den Untersuchungen von Willstätter ist die Magnesia ein konstanter Bestandteil des Chorophylls. Siehe hierüber Euler: Grundlagen und Ergebnisse der Pflanzenchemie. Braunschweig 1908 und 1909.

[3]) A. a. O. und Landw. Jahrbücher 1903.

[4]) Jahresber. für Agrikulturchemie 1904.

daß mit steigendem Gehalt an Magnesia auch die Wurzelbildung an Volumen zunahm und daß das höchste Erntegewicht bei einem mehr als doppelt so hohen Gehalt an Magnesia erreicht wurde. Ebenso hat Burlingham[1]) beobachtet, daß schwefelsaure Magnesia nicht unbedingt giftig wirkt bei Abwesenheit anderer Salze, sondern das Wachstum in geeigneter Verdünnung sogar fördern kann.

2. Das Kalk- und Magnesiabedürfnis der verschiedenen Kulturpflanzen.

Der Anspruch nun, den die verschiedenen Kulturpflanzen an den Kalk- und Magnesiagehalt des Bodens stellen, geht aus nachfolgender Zusammenstellung (Tabelle I), welcher dreijährige Untersuchungen der Versuchswirtschaft Lauchstädt zugrunde liegen, hervor. Die Ergebnisse sind auf einem Boden mit gutem Kalkgehalte (1 % CaO in der Ackerkrume und 8—10 % im Untergrunde) erzielt worden.

(Siehe Tabelle I Seite 6.)

Entsprechend den höheren Ernten sind auch die Entnahmen an Kalk und Magnesia in einem niederschlagsreichen Jahre höher als in einem trocknen Jahre. Im Mittel dreijähriger Versuche wurden beim Getreide durch die Gerste die niedrigsten und durch den Hafer die höchsten Mengen an Kalk und Magnesia dem Boden entnommen. Es wurden von den verschiedenen Getreidearten an Kalk 21,88—39,37 kg und an Magnesia 10,86—17,52 kg aufgenommen. Weit höher sind nun die von den übrigen Früchten aufgenommenen Kalkmengen. So wurden von der Kartoffel 75,95, von der Zuckerrübe 85,59, von der Erbse 117,68, vom Raps 200,44 und von der Luzerne 242,02 kg Kalk dem Boden entnommen. Die aufgenommenen Magnesiamengen betragen bei der Kartoffel, beim Raps und bei der Luzerne 27—28 kg, während von der Zuckerrübe die doppelte Menge an Magnesia aufgenommen wurde. Auch die als „kalkfeindlich" bezeichnete Lupine und Serradella stehen in der Kalkaufnahme den übrigen Leguminosen keineswegs nach. So wurden von der Lupine (einjähriger Versuch) 187,78 und von der Serradella (zweijährige Versuche) 148,50 kg Kalk aufgenommen. Neben der Zuckerrübe hat die Lupine sogar die höchste Menge an Magnesia dem Boden entnommen. Serradella und Lupine zeigten auf dem kalkreichen Boden der Versuchswirtschaft Lauchstädt nun keineswegs eine mangelhafte Entwicklung; dieselbe war im Gegenteil eine ausgezeichnete. Es wurde eine Ernte erzielt, wie sie auf Sandboden nicht höher ausfallen kann. Ich werde in einem späteren Abschnitte hierauf ausführlicher zurückkommen.

---

[1]) Jahresber. für Agrikulturchemie 1907.

Tabelle I.

Die Kalk- und Magnesiaentnahmen durch verschiedene Feldfrüchte.

(Nach Versuchen der Versuchswirtschaft Lauchstädt.)

		Ertrag auf 1 ha (trocken)		In Körnern, Wurzeln, Knollen				im Stroh bzw. Kraut				Körner und Stroh. Wurzeln u. Kraut	
		Körner bzw. Wurzeln oder Knollen	Stroh bzw. Kraut	Kalk		Magnesia		Kalk		Magnesia		Kalk (auf 1 ha)	Magnesia (auf 1 ha)
		dz	dz	%	kg auf 1 ha	%	kg auf 1 ha	%	kg auf 1 ha	%	kg auf 1 ha	kg	kg
Weizen	1905[1]	32,70	58,30	0,07	2,29	0,18	5,89	0,33	19,24	0,16	9,33	21,53	15,22
	1906[2]	39,53	106,47	0,09	3,56	0,17	6,72	0,31	33,01	0,13	13,84	36,57	20,56
	1907	39,36	89,20	0,09	3,54	0,20	7,87	0,36	32,11	0,10	8,92	35,65	16,79
Mittel:		**37,20**	**84,66**	**0,08**	**3,13**	**0,18**	**6,82**	**0,33**	**28,12**	**0,13**	**10,70**	**31,25**	**17,52**
Roggen	1905	30,98	56,94	0,10	3,10	0,15	4,65	0,27	15,37	0,12	6,83	18,47	11,48
	1906	30,33	68,18	0,10	3,03	0,14	4,25	0,43	29,32	0,11	7,50	32,35	11,75
	1907	33,38	55,76	0,11	3,67	0,14	4,67	0,33	18,40	0,10	5,58	22,07	10,25
Mittel:		**31,56**	**60,29**	**0,10**	**3,27**	**0,14**	**4,52**	**0,34**	**21,03**	**0,11**	**6,64**	**24,30**	**11,16**
Gerste	1905	27,73	35,02	0,13	3,60	0,22	6,10	0,36	12,61	0,11	3,85	16,21	9,95
	1906	27,60	46,40	0,11	3,04	0,17	4,69	0,43	19,95	0,11	5,10	22,99	9,79
	1907	35,70	58,30	0,12	4,28	0,18	6,43	0,38	22,15	0,11	6,41	26,43	12,84
Mittel:		**30,34**	**46,57**	**0,12**	**3,64**	**0,19**	**5,74**	**0,39**	**18,24**	**0,11**	**5,12**	**21,88**	**10,86**
Hafer	1905	29,93	47,71	0,23	6,88	0,20	5,99	0,44	20,99	0,22	10,50	27,87	16,49
	1906	33,66	92,67	0,17	5,72	0,17	5,72	0,46	42,63	0,10	9,27	48,35	14,99
	1907	40,03	83,33	0,11	4,40	0,18	7,20	0,45	37,50	0,13	10,83	41,90	18,03
Mittel:		**34,54**	**74,57**	**0,17**	**5,67**	**0,18**	**6,30**	**0,45**	**33,70**	**0,15**	**10,20**	**39,37**	**16,50**
Erbsen	1905	22,84	46,65	0,08	1,83	0,17	3,88	2,10	97,97	0,33	15,39	99,80	19,27
	1906	29,02	60,86	0,12	3,48	0,14	4,06	2,17	132,07	0,30	18,26	135,55	22,32
	1907	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Mittel:		**25,93**	**53,76**	**0,10**	**2,66**	**0,16**	**3,97**	**2,14**	**115,02**	**0,32**	**16,83**	**117,68**	**20,80**
Raps	1905	27,77	84,61	0,38	10,55	0,40	11,11	2,17	183,60	0,17	14,38	194,15	25,49
	1906	20,33	80,86	0,59	11,99	0,35	7,12	2,33	188,40	0,19	15,36	200,39	22,48
	1907	22,16	59,30	0,50	11,08	0,47	10,41	3,30	195,69	0,40	23,72	206,77	34,13
Mittel:		**23,42**	**74,92**	**0,49**	**11,21**	**0,41**	**9,55**	**2,60**	**189,23**	**0,25**	**17,82**	**200,44**	**27,37**
Luzerne	1905	—	77,42	—	—	—	—	2,56	198,20	0,23	17,81	—	—
	1906	—	109,10	—	—	—	—	2,62	285,84	0,35	38,19	—	—
	1907	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Mittel:		—	**48,26**	—	—	—	—	**2,59**	**242,02**	**0,29**	**28,00**	—	—
Zuckerrüben	1905	124,53	60,10	0,10	12,45	0,14	17,43	1,07	64,31	0,47	28,25	76,76	45,68
	1906	142,03	68,99	0,26	36,93	0,24	34,09	0,92	63,47	0,40	27,60	100,40	61,69
	1907	113,79	52,74	0,25	28,45	0,28	31,86	0,97	51,16	0,55	29,00	79,61	60,86
Mittel:		**126,78**	**60,61**	**0,20**	**25,94**	**0,22**	**27,80**	**0,99**	**59,65**	**0,47**	**28,28**	**85,59**	**56,08**
Kartoffeln	1905	48,31	21,57	0,12	5,80	0,09	4,35	3,30	71,18	1,04	22,43	76,98	26,78
	1996	37,35	—	0,11	4,11	0,09	3,36	—	—	—	—	—	—
	1907	55,10	—	0,08	4,41	0,13	7,16	—	—	—	—	—	—
Mittel:		**46,92**	**21,57**	**0,10**	**4,77**	**4,96**	**0,10**	**3,30**	**71,18**	**1,04**	**22,43**	**75,95**	**27,39**
Lupine	1907	—	**81,60**	—	—	—	—	**2,30**	**187,78**	**0,61**	**49,77**	—	—
Serradella	1907 II. Anbau	—	63,10	—	—	—	—	1,63	102,85	0,52	32,81	—	—
	1908 II. „	—	69,30	—	—	—	—	2,42	167,61	0,57	39,50	—	—
	1908 IV. „	—	74,80	—	—	—	—	2,34	175,03	0,57	42,64	—	—
Mittel:		—	**69,10**	—	—	—	—	**2,13**	**148,50**	**0,55**	**38,32**	—	—

[1]) Niederschlagsarm. [2]) Niederschlagsreich.

Diese Zahlen bestätigen nun die bekannte Tatsache, daß die Leguminosen und Futterpflanzen wie auch die Hackfrüchte ein höheres Kalkbedürfnis haben als die Getreidearten, und daß ein Boden, der beim Anbau von Leguminosen schon ein stärkeres Kalkbedürfnis hervortreten läßt, sehr wohl noch normale Ernten an Getreide liefern kann. Die hohe Bedeutung aber, welche dem Anbau der Leguminosen für den gesamten Wirtschaftsbetrieb zukommt, macht es zu einer gebieterischen Notwendigkeit, die anspruchsvollsten Pflanzen bezüglich des Kalkbedürfnisses sicher zu stellen. Wenn, wie es der Verfasser wiederholt beobachten konnte, auf vielen Böden der Klee infolge Kalkmangels zum Teil völlig versagte, ohne daß man sich zu einer Kalkdüngung entschließen konnte, so verdient diese Maßnahme die allerschärfste Verurteilung und zeigt, daß man die hohe Bedeutung des Futterbaues heute noch nicht überall in gebührender Weise hat würdigen gelernt. Die Not wird aber auch hier die beste Lehrmeisterin mit der Zeit werden.

B. Der Einfluß des Kalkes und der Magnesia auf den Boden.

1. In physikalischer Beziehung.

a) Der Einfluß auf den Wasserhaushalt des Bodens.

α) Leichte Böden.

Über den Einfluß, den die Kalkdüngung auf den Wasserhaushalt des Bodens ausübt, sind zahlreiche Versuche ausgeführt worden. Eine zusammenfassende Arbeit, der auch eingehende eigene Untersuchungen mit einem lehmigen Sandboden zugrunde liegen, ist kürzlich von Blanck[1]) hierüber veröffentlicht worden. Die Ergebnisse waren in der Hauptsache die folgenden:

1. Der kohlensaure Kalk beeinflußte die Wasserbewegung von unten nach oben fast gar nicht. Der Ätzkalk verminderte die kapillare Steigkraft des Wassers beträchtlich, und zwar proportional der angewandten Menge.

2. Ätzkalk erhöhte die Wasserkapazität des lufttrocknen und feuchten Bodens, kohlensaurer Kalk in Form des gemahlenen Kalksteins verringerte es in beiden Fällen. Präzipitierter Kalk übte auf lufttrocknen Boden keinen Einfluß aus, wohl aber erhöhte er die Wasserkapazität im feuchten Boden.

---

[1]) Der Einfluß des Kalkes auf die Wasserbewegung im Boden. Landw. Jahrbücher 1909.

3. Ätzkalk rief für Wasser die höchste Durchlässigkeit hervor, sie war jedoch größer im feuchten als im lufttrocknen Boden. Kohlensaurer Kalk bewirkte in beiden angewandten Formen eine Verminderung der Wasserdurchlässigkeit im lufttrocknen Boden, im feuchten Boden dagegen eine Erhöhung.

4. Aus ungekalktem Boden trat durch Verdunstung das Wasser am schnellsten und reichlichsten aus. Der mit Ätzkalk versetzte Boden führte am Ende der Verdunstungsversuche noch die größte Menge Wasser. Die mit kohlensaurem Kalk versetzten Böden standen in diesem Verhalten in der Mitte.

5. Ätzkalk verringerte die Hygroskopizität des lehmigen Sandbodens am meisten, geringer der präzipitierte Kalk.

Da die mit Ätzkalk ausgeführten Versuche für die Verhältnisse in der Praxis insofern nicht in Frage kommen, als die Anwendung auf den leichten Böden, wenn überhaupt, so zeitig zu erfolgen hat, daß während der Hauptvegetationszeit die Überführung in kohlensauren Kalk längst stattgefunden und dieser in so großen Mengen, wie sie in der Praxis im allgemeinen nicht gegeben werden, kaum einen nennenswerten Einfluß ausgeübt hat, so kann dem Kalke bei den leichten Böden, die in ihrer mechanischen Beschaffenheit durch die Kalkdüngung wesentliche Änderungen nicht erleiden, ein erheblicher Einfluß nicht zugesprochen werden.

β) Schwere Böden.

Hier sind durch den Einfluß des Kalkes infolge der Strukturveränderung erhebliche Unterschiede bezüglich der Wasserdurchlässigkeit beobachtet worden. So konnte von Pearson[1]) festgestellt werden, daß der gebrannte Kalk die Durchlässigkeit des Wassers erheblich erhöhte. Es betrug die Zeit, welche zum Durchsickern des Wassers erforderlich war:

	Boden ohne Kalk	Boden mit 0,25	0,50	2,50 % Kalk
Versuch 1 . .	148 1/4	12 3/4	10	3 Stunden
„ 2 . .	299 1/2	242 1/2	126 1/2	8 1/4 „
„ 3 . .	643	191 1/2	60 1/2	7 „

Mit der Höhe der Kalkgabe hat die Durchlässigkeit für Wasser somit erheblich zugenommen. Auch Reynolds[2]) kommt auf Grund seiner Untersuchungen zu dem Ergebnis, daß mit Zunahme des Wassergehaltes die Wasserdurchlässigkeit des Tones und die Krümelung desselben zunahm.

---

[1]) Centralbl. für Agrikulturchemie 1893 und Blanck, a. a. O.

[2]) Über den Einfluß, welchen der Kalk auf die physikalischen Eigenschaften des Bodens auszuüben vermag. Jahresber. für Agrikulturchemie 1898.

b) Der Einfluß auf die Krümelstruktur des Bodens.

Zur Erzielung hoher Erträge ist neben einer sachgemäßen Düngung auch eine rationelle Bodenbearbeitung erforderlich. Das Ziel, welches letztere zu erreichen suchen muß, ist die Herbeiführung von Krümelstruktur und Gare im Boden[1]). Je schwerer ein Boden und je höher der Feuchtigkeitszustand desselben, um so größere Sorgfalt ist auf eine sachgemäße Bearbeitung zu legen, und um so bedeutsamer sind zur Erzielung sicherer und normaler Ernten alle Maßnahmen, welche die Schaffung eines günstigen Standortes der Pflanzen zum Ziele haben. Ist auf den leichten Böden bei ausreichenden Niederschlägen die Höhe der Ernten in erster Linie von einer sachgemäßen Düngung abhängig, so können auf den schweren Böden unter Umständen Maßnahmen der Düngung versagen, wenn die mechanische Beschaffenheit des Bodens eine den Pflanzen nicht zusagende ist. Eines der hervorragendsten Mittel nun, die physikalische Beschaffenheit schwerer Böden zu verbessern und die Herbeiführung von Krümelstruktur und Gare im Boden zu erleichtern, ist der Kalk, und zwar in Form des gebrannten Kalkes. Auch bei sonst ausreichendem Kalkgehalte des Bodens kann die Anwendung höherer Ätzkalkgaben für schwere Böden eine Maßnahme sein, die von hoher wirtschaftlicher Bedeutung ist. Hierüber liegen zahlreiche Beispiele aus der Praxis vor. Auch von Wohltmann[2]) wird der große Einfluß der Kalkdüngung auf die mechanische Beschaffenheit des Bodens vom Poppelsdorfer Versuchsfelde (schwerer Lehm) hervorgehoben. Es wird ausgeführt, daß der Lehmboden durch Kalkdüngung bedeutend lockerer, durch Kalisalze und Salpeter dagegen bindiger geworden und daß die verschieden gedüngten Parzellen ein buntscheckiges Bild zeigten.

Die hohe Bedeutung der Verwendung gebrannten Kalkes auf schweren Böden geht auch weiter aus Versuchen von Tacke[3]) mit Böden der Wesermarsch und Ilmenauer Niederung hervor: Hier hat trotz des nicht unerheblichen Kalkgehaltes der verschiedenen Böden der gebrannte Kalk sehr günstig auf die Erträge gewirkt.

Die Wirkung nun, welche der Kalk auf den Boden ausübt, besteht nach Mitscherlich[4]) in der Verringerung der Kohäreszenz der festen Bodenteilchen durch Einlagerung unlöslicher Kalksalze zwischen die einzelnen Bodenpartikelchen. Da die Kalksalze infolge ihrer Schwerlöslichkeit sich nicht gleichmäßig im Boden verteilen, so ist für eine

---

[1]) Siehe hierüber: v. Rümker, Der Boden und seine Bearbeitung. Tagesfragen aus dem modernen Ackerbau, Heft 1. 4. Aufl.

[2]) Bodenbakteriologische und bodenchemische Studien. Journal f. Landwirtschaft 1904.

[3]) Mitteil. der D. L. G. 1902. Jahrbuch der D. L. G. 1905.

[4]) Die Bodenkunde. Berlin 1905.

möglichst innige Mischung des Kalkes mit dem Boden Sorge zu tragen. Je besser daher die Verteilung des Kalkes im Boden erfolgt, um so wirksamer muß sich natürlich der Einfluß des Kalkes gestalten. Daher ist der trocken gelöschte oder gemahlene Ätzkalk infolge seiner außerordentlichen Feinheit auch erheblich wirksamer für schwere Böden als der gemahlene Kalkstein oder Mergel, vorausgesetzt, daß der gebrannte Kalk bei trocknem Wetter gestreut und untergebracht werden kann und nicht, wie es so häufig der Fall ist, eingeschmiert wird. Die Wirkung des gebrannten Kalkes wird nun gegenüber dem kohlensauren Kalke noch weiter durch die teilweise Wasserlöslichkeit des ersteren gesteigert. Je mehr nach dem Streuen und Unterbringen eine Verteilung in der Bodenfeuchtigkeit und nach dem Ausscheiden als kohlensaurer Kalk eine Einlagerung zwischen die einzelnen Bodenpartikelchen erfolgen kann, um so günstiger muß auch die Wirkung sich gestalten. Der höchste Grad der Wirksamkeit wird daher auch nur bei einem bestimmten Feuchtigkeitsgehalte und Krümelzustande des Bodens erreicht werden. Findet z. B. bei schwerem Boden eine Kalkanwendung statt zu einem Zeitpunkte, wo der Boden stark ausgetrocknet und eine gute Verteilung des Kalkes infolge großer Schollen nicht möglich ist, so wird auch ein durchschlagender Erfolg nicht zu erwarten sein. Der richtige Zeitpunkt bei der Anwendung größerer Mengen gebrannten Kalkes auf schwerem Boden ist eine der beachtenswertesten Gesichtspunkte für die Verbesserung der physikalischen Eigenschaften dieser Böden überhaupt.

Die Erkenntnis von der Notwendigkeit der Verbesserung der mechanischen Bodenbeschaffenheit durch größere Ätzkalkgaben hat nun noch längst nicht eine derartige Verbreitung gefunden, wie es im Interesse einer rationellen Bodenkultur zu wünschen wäre. Dem Verfasser sind weite Striche bekannt, wo man sich bis heute noch nicht zu einer Kalkdüngung entschließen konnte, obgleich durch regelmäßige Anwendung von Salpeter und andern Düngemitteln die physikalische Bodenbeschaffenheit sich im Laufe der Jahre erheblich verschlechtert hat.

Für den leichten Sandboden, bei welchem die Herstellung von Krümelstruktur und Gare nicht die Bedeutung hat wie für den schweren Boden, läßt sich unter Umständen eine Verbesserung der physikalischen Beschaffenheit und besonders der wasserfassenden Kraft dadurch ermöglichen, daß in nicht zu weiter Entfernung Mergellager mit einem gewissen Gehalte an lehmigen oder tonigen Bestandteilen vorkommen, welche dann für eine Kalkung dieser Böden ausgebeutet werden können. Diese Fälle gehören allerdings zu den Ausnahmen, aber immerhin

liegt die Möglichkeit, wie verschiedene Beispiele aus der Praxis zeigen, hierzu vor und es verdient daher die geognostische Durchforschung der tieferen Schichten nach derartigen Meliorationsmitteln volle Beachtung.

2. In chemischer Beziehung.

a) Die Neutralisation der Humussäuren und die Zersetzung schädlicher Bodenbestandteile.

In erster Linie hat die Neutralisation der Humussäuren Bedeutung für den kalkarmen Hochmoorboden, der ein so hohes Maß von sauren Humusstoffen besitzt, daß an eine Benutzung zur Bodenkultur erst herangetreten werden kann, nachdem eine genügende Entwässerung und eine Kalkdüngung stattgefunden hat. Nachdem von Tacke[1]) schon vor längerer Zeit eine Methode zur Bestimmung der freien Humussäuren im Moorboden eingeführt worden ist, läßt sich für eine bestimmte Tiefe die zur Herstellung einer neutralen Bodenreaktion notwendige Kalkmenge genau ermitteln. Es haben aber die weiteren Versuche von Tacke ergeben, daß eine so weitgehende Neutralisation beim Hochmoorboden nicht empfehlenswert ist, da hierdurch eine zu starke Zersetzung der oberen Schicht und damit eine zu schnelle Verflachung der Krume eintritt. Auch eine Abstumpfung der Säuren in den tieferen Schichten (Untergrundkalkung) hat sich als zweckmäßig erwiesen, besonders wenn eine Vertiefung der Krume notwendig wurde.

Die Neutralisation saurer Humusstoffe kommt aber keineswegs nur für den Moorboden in Frage. Nachdem schon vor längerer Zeit von Immendorf[2]) und Tacke[3]) auf das Vorkommen von sauren Mineralböden hingewiesen worden ist, haben auch Untersuchungen des Verfassers ergeben, daß saure Böden verbreiteter sind, als man im allgemeinen annimmt. Es trifft dies weniger für die leichten Böden als vielmehr für die an abschlämmbaren Teilen reicheren Lehm- und Tonböden zu. Da, wie wir später sehen werden, eine neutrale oder schwach alkalische Bodenreaktion von erheblicher Bedeutung ist, so ist die Ermittlung der Reaktion des Bodens als eine wichtige Maßnahme anzusehen. Infolge mangelhafter Durchlüftung können auch unter Umständen durch Reduktionsvorgänge lösliche Eisenoxydulsalze, die als Pflanzengifte anzusehen sind, auftreten, welche durch eine Kalkdüngung zersetzt und unschädlich gemacht werden.

---

[1]) Chemikerzeitung 1897, 174.

[2]) Zeitschr. für angewandte Chemie 1900. Heft 47.

[3]) Mitteil. der D. L. G. 1902.

b) Die Erhaltung der Wirksamkeit der Phosphorsäure.

Eine der wichtigsten Aufgaben, welche der Kalk außer der Neutralisation saurer Verbindungen zu erfüllen hat, ist die Absorption der löslichen Phosphorsäure, die Erhaltung derselben in einem Zustande möglichst langer Wirksamkeit und die Verhütung der Bildung schwer löslicher Eisen- und Tonerdephosphate. Am leichtesten unterliegt bekanntlich diesem Schicksal die wasserlösliche Phosphorsäure des Superphosphats. Aber auch die schwerer lösliche Phosphorsäure des Thomasmehls und anderer phosphorsäurehaltiger Düngemittel ist nicht derartig unlöslich, daß nicht im Laufe der Zeit eine Umbildung zu schwer löslichen Eisen- und Tonerdephosphaten möglich ist. Über das Unlöslichwerden der Phosphorsäure im Boden hat Gerlach[1]) Untersuchungen ausgeführt, die zu folgenden Resultaten führten:

1. Mit Salzsäure ausgekochte Ton-, Torf- und Sandböden absorbieren aus phosphorsäurehaltigen Flüssigkeiten keine Phosphorsäure.

2. Kalk- und Magnesiumkarbonate, die Sesquioxyde des Eisens und Aluminiums sind starke Absorptionsmittel für Phosphorsäure.

3. Am vollständigsten und energischsten haben Eisen und Tonerde absorbiert.

4. Am schnellsten ist die freie Phosphorsäure absorbiert, fast ebenso schnell die des Superphosphats, während diejenige des Natriumphosphats in geringerer Menge aus der Lösung abgeschieden wurde.

5. Die durch Kalk und Magnesia absorbierte Phosphorsäure ist verhältnismäßig leicht löslich, sie löst sich leicht in kohlensäurehaltigem Wasser. Die durch Eisen- und Tonerde absorbierte ist dagegen in reinem und kohlensäurehaltigem Wasser unlöslich, dagegen vollständig oder teilweise löslich in verdünnten Lösungen organischer Säuren. Kohlensäurehaltiges Wasser vermag den gesamten Kalk des Dikalziumphosphats in Lösung zu bringen, wohingegen die an Eisen und Tonerde gebundene Phosphorsäure unlöslich zurückbleibt.

Nach Untersuchungen von Sutherst[2]) wird das Zurückgehen der löslichen Phosphorsäure am schnellsten von Magnesiumkarbonat, weniger rasch von Eisenoxyd, am langsamsten von Kalziumkarbonat bewirkt. Schlösing[3]) gelangt auf Grund seiner Versuche, daß Kalziumbikarbonatlösung bei Gegenwart entsprechender Mengen von Phosphorsäure

[1]) Über das Verhalten der Phosphorsäure gegen absorbierende Bestandteile des Bodens. Landw. Versuchsstationen Bd. 46.

[2]) Über die Reversion des Kalziumsuperphosphats im Boden. Jahresber. für Agrikulturchemie 1902.

[3]) Jahresber. für Agrikulturchemie 1902.

Kalziumtriphosphat bildet, zu der Ansicht, daß das Unlöslichwerden der Phosphorsäure im Superphosphat in erster Linie auf die Bildung von Triphosphat zurückzuführen sei. Da das Triphosphat bekanntlich nur eine sehr geringe Wirkung auf das Pflanzenwachstum ausübt, so müßte die wasserlösliche Phosphorsäure ihre Wirksamkeit recht bald verlieren. Daß dies nun auf Böden mit gutem Kalkgehalte durchaus nicht der Fall ist, zeigen neuere, von der Versuchsstation Halle[1]) ausgeführte Versuche. Der zu diesen Versuchen benutzte Boden enthielt ca. 1 % Kalk, wovon 0,25 % als Karbonat vorhanden waren. Die Versuche gelangten in der Weise zur Ausführung, daß einerseits eine größere einmalige Gabe (Vorratsdüngung) von Phosphorsäure stattfand, während auf der andern Seite kleinere, jährlich zu verabreichende Gaben dem Boden zugeführt wurden. Während einer vierjährigen Versuchsdauer erhielten beide Versuchsreihen gleiche Phosphorsäuremengen. Zur Anwendung gelangte Superphosphat und Thomasmehl. Letzteres besonders aus dem Grunde, da es bekanntlich längere Zeit seine Wirksamkeit im Boden beibehält und vielfach für die Anreicherung sehr phosphorsäurearmer Böden benutzt wird. Das Ergebnis dieser Versuche war das folgende. Es betrug die Mehrernte an Haferkörnern (1. u. 2. Jahr) und Senf (3.—6. Jahr) bezw. Buchweizen (7. Jahr):

	1. u. 2. Jahr g	3. u. 4. Jahr g	5.—7. Jahr g
Superphosphat:			
1,5 g Phosphorsäure jährlich	70,7	193,9	219,9
6,0 g „ Vorrat	81,3	191,1	205,8
Thomasmehl:			
1,5 g Phosphorsäure jährlich	52,1	191,9	247,2
6,0 g „ Vorrat	63,5	193,0	242,3

Es betrug die Phosphorsäureaufnahme aus der Düngung:

	1. u. 2. Jahr g	3. u. 4. Jahr g	5.—7. Jahr g
Superphosphat:			
1,5 g Phosphorsäure jährlich	0,69	1,49	1,62
6,0 g „ Vorrat	1,25	1,25	1,41
Thomasmehl:			
1,5 g Phosphorsäure jährlich	0,43	1,11	1,62
6,0 g „ Vorrat	0,58	1,15	1,38

Die einmalige Vorratsgabe hatte also noch im 5.—7. Jahre fast denselben Mehrertrag gebracht als die jährliche Gabe.

[1]) Schneidewind, Landw. Jahrbücher 1910 und Arbeiten der Versuchsstation Halle III.

Dieses Ergebnis wird nun auch durch einen weiteren Versuch mit demselben Boden bestätigt, welcher derart ausgeführt wurde, daß gleiche Mengen von Phosphorsäure verschiedener Düngemittel kürzere bezw. längere Zeit im Boden lagerten und dann in ihrer Wirkung im Vergleich zu einer unmittelbar vor der Bestellung gegebenen Phosphorsäuredüngung geprüft wurden. Das Resultat dieser Versuche war folgendes. Es betrug die Mehrernte:

	Senf g
Superphosphat:	
0,9 g Phosphorsäure zur Bestellung	89,3 = 100
0,9 g „ 1/2 Jahr vor der Bestellung.	90,3 = 101,1
0,9 g „ 1 „ „ „ „	83,8 = 93,8
0,9 g „ 1 1/2 „ „ „ „	74,6 = 83,5
Präzipitat:	
0,9 g Phosphorsäure zur Bestellung	84,7 = 100
0,9 g „ 1/2 Jahr vor der Bestellung.	85,2 = 100,5
0,9 g „ 1 „ „ „ „	82,9 = 97,9
0,9 g „ 1 1/2 „ „ „ „	74,7 = 88,2
Thomasmehl:	
0,9 g Phosphorsäure zur Bestellung	65,3 = 100
0,9 g „ 1/2 Jahr vor der Bestellung.	67,3 = 103,0
0,9 g „ 1 „ „ „ „	67,8 = 103,8
0,9 g „ 1 1/2 „ „ „ „	71,0 = 108,7

Wird die Mehrernte der unmittelbar vor der Bestellung gegebenen Phosphorsäure = 100 gesetzt, so betrug die Wirkung der 1 Jahr vor der Bestellung gegebenen Phosphorsäure beim Superphosphat 93,8, beim Präzipitat 97,9 und beim Thomasmehl 103,8; der 1 1/2 Jahr vor der Bestellung gegebenen Phosphorsäure beim Superphosphat 83,5, beim Präzipitat 88,2 und beim Thomasmehl 108,7. Bei 1 1/2 Jahr langer Lagerung im Boden hatte das Superphosphat demnach 16,5 % und daß Präzipitat 11,8 % an Wirksamkeit verloren, wohingegen das Thomasmehl eine etwas bessere Wirkung zeigte. Dies Ergebnis entspricht durchaus den Löslichkeitsverhältnissen und der Wirkung der Phosphorsäure in den verschiedenen Düngemitteln.

Die Erhaltung der Wirksamkeit der Phosphorsäure im Boden bei genügendem Kalkgehalte geht auch aus Untersuchungen von Wohltmann[1]) hervor. Es betrug die Löslichkeit der Phosphorsäure in 2 %iger Zitronensäure:

auf den gekalkten Parzellen 0,0365 % bei 0,127 % Gesamt-Phosphorsäure,
auf den nicht „ „ 0,0172 % „ 0,114 % „ „

[1]) Journal für Landwirtschaft 1904.

Die Gegenwart genügender Kalkmengen im Boden verhindert aber nicht nur die Bildung schwer löslicher Eisen- und Tonerdephosphate, sondern der Kalk vermag nach den Untersuchungen von Sutherst[1]) auch Eisen- und Tonerdephosphate wieder in Lösung zu bringen. Wurde gebrannter Kalk auf Eisen- und Tonerdephosphate einwirken gelassen, so wurde ein erheblicher Teil der Phosphorsäure zitratlöslich. Es betrug die Zitratlöslichkeit der Phosphorsäure:

	Ferrophosphat %	Ferriphosphat %	Tonerdephosphat %
Ursprünglich	2,47	2,75	3,20
Nach 24 Stunden . . .	19,55	21,96	18,45
„ 48 „ . . .	22,15	22,41	19,88
„ 72 „ . . .	22,26	22,45	20,65
Von 100 Teilen Phosphorsäure waren zitratlöslich:			
Nach 24 Stunden . . .	75,42	94,45	64,33
„ 48 „ . . .	85,45	96,36	69,31
„ 72 „ . . .	85,88	96,55	72,00

Es ist nun nicht allein die Bildung schwer löslicher Phosphate, die bei Kalk- bzw. Magnesiamangel eintritt, sondern die Phosphorsäure beginnt auf kalkarmen Böden sich allmählich in tiefere Schichten zu bewegen. Es hat hierauf besonders Orth[2]) hingewiesen. Bei Mangel an kohlensauren bzw. leicht zersetzbaren andern Kalkverbindungen wird die durch die Auflösung von Kalk nicht in Anspruch genommene Kohlensäure frei; sie vermag daher eisenhaltige Silikate anzugreifen und auch das Eisen selbst zur Lösung und Ausscheidung zu bringen. Nach dem Verluste des kohlensauren Kalkes durch Auslaugung kommen daher nach Orth lösliche Eisenverbindungen zahlreicher vor und geben vielfach in Gemeinschaft mit löslichen Humusstoffen zur Bildung sekundärer Verhärtungen und Ablagerungen (Eisenortstein, Raseneisenstein) Veranlassung. Hieran schließt sich häufig die Wanderung der Phosphorsäure und die örtliche Aufspeicherung derselben im Untergrunde in Verbindung mit Eisen. Hierauf ist auch zu einem großen Teile der Phosphorsäuregehalt der Eisenerze zurückzuführen, der ja bekanntlich durch den Thomasprozeß in der Eisenindustrie für die Landwirtschaft wieder nutzbar gemacht und in Form eines sehr wirksamen Phosphorsäuredüngers, des Thomasmehls, gewonnen wird.

Zahlreich kommen solche Eisen-Ortsteinbildungen bei diluvialen Sandböden vor. Wenn solche Böden der Kultur erschlossen werden

---

[1]) Über die Einwirkung von Kalk auf die unlöslichen Phosphate im Boden. Jahresbericht für Agrikulturchemie 1902.

[2]) Anleitung zur Anwendung von Kalk und Mergel. Berlin 1896.

sollen, so ist eine Zerstörung dieser Schicht durch tiefe Untergrundlockerung und die Zufuhr größerer Kalkmengen die Vorbedingung für eine erfolgreiche Bodenkultur, da die undurchdringliche Schicht sehr nachteilig auf das Tiefenwachstum der Wurzeln und dadurch auf die Entwicklung der ganzen Pflanze einwirkt.

Auch auf den kalkarmen schweren Marschböden bilden sich häufig im Untergrunde Ablagerungen von phosphorsaurem Eisen (Blaueisenerde oder Vivianit). Die Gegenwart derselben läßt auf die Kalkarmut der oberen Schichten schließen. „Der Gehalt an kohlensaurem Kalk bewahrt davor, daß sich im Untergrunde durch Eisen oder Humus oder durch beide hervorgerufene und für die Wurzeln undurchgängige Verhärtungen, daß sich der gefürchtete Eisenschuß und Raseneisenstein ausbilden können. Auf dieser Tatsache beruht zum Teil die große praktische Bedeutung des ‚Gesetzes des Kalkes und Eisens'" (Orth).

Inwieweit vermag nun die in der Düngung zugeführte Magnesia eine günstige Wirkung auch nach dieser Richtung hin auszuüben? Wir haben aus den Untersuchungen von Gerlach gesehen, daß die Löslichkeit der durch Kalk und Magnesia absorbierten Phosphorsäure in kohlensäurehaltigem Wasser gleich war, und daß sich beide Verbindungen hierin leicht lösten. Nach Pear kommt der Magnesia dadurch, daß sie die Phosphorsäure assimilierbarer macht, noch eine kleine Überlegenheit gegenüber dem Kalk zu. Nach Loew sind Magnesiumphosphate gegenüber den Kalkphosphaten in den Pflanzen von Vorteil, da erstens das sekundäre Magnesiumphosphat löslicher als das Kalksalz und daher wanderungsfähiger ist und zweitens einen Teil ihrer Phosphorsäure leichter abgibt. Loew folgert, daß die Funktion der Magnesia darin besteht, nach Umwandlung in sekundäres Phosphat die Bildung von Nuklein und Plastin für Zellkern und Chlorophyllkörper zu ermöglichen.

c) Der Einfluß auf die Kaliverbindungen des Bodens.

Die aufschließende Wirkung, die der Kalk, wie auch die Magnesia auf die schwer löslichen Kaliverbindungen des Bodens ausüben, sind von verschiedenen Forschern untersucht worden. So fand z. B. Fittbogen, welcher längere Zeit fein gepulverten Kalifeldspat den Wirkungen verschiedener Lösungen aussetzte, daß folgende Kalimengen aus 1 kg Kalifeldspat gelöst wurden:

Bei Anwendung von kohlensaurem Kalk	+ Kohlensäure	42,8	mg
„ „ „ kohlensaurer Magnesia	+ „	73,1	„
„ „ „ gebranntem Kalk	+ Wasser	151,1	„
„ „ „ gebrannter Magnesia	+ „	191,5	„

Der gebrannte Kalk zeigte somit eine erheblich größere Wirkung auf die Löslichkeit des Kalis wie der kohlensaure Kalk. Sowohl die kohlensaure wie die gebrannte Magnesia zeigten sich den entsprechenden Kalkformen in der Wirkung noch überlegen.

Eine erhebliche Erhöhung der Löslichkeit des Kalis im Boden durch den Kalk wurde auch von Pear festgestellt.

Die Wirkung, die besonders der gebrannte Kalk nach dieser Richtung hin ausübt, kann für die verschiedenen Böden von Vorteil oder auch von Nachteil sein. Auf tonerdereichen Böden mit einem hohen Gehalt an schwer zersetzbaren Kaliverbindungen muß die Löslichmachung des Bodenkalis als entschieden vorteilhaft angesehen werden, während bei kaliarmen, leichten Sandböden eine derartige Wirkung zu einer Verarmung an Kali [1]) beitragen kann. Wir werden hier auch dem viel weniger wirksamen kohlensauren Kalk im allgemeinen den Vorzug geben. Im übrigen darf bei der Billigkeit der kalihaltigen Düngemittel diesem Einflusse des Kalkes keine allzu große Bedeutung beigemessen werden.

d) Der Einfluß auf den Ammoniakstickstoff des Düngers.

Werden Ammoniaksalze auf Böden, welche einen hohen Gehalt an kohlensaurem Kalk besitzen, längere Zeit an der Oberfläche liegen gelassen, so kann ein erheblicher Verlust an Stickstoff eintreten, indem der kohlensaure Kalk des Bodens sich mit dem schwefelsauren Ammoniak zu leicht flüchtigem kohlensauren Ammoniak umsetzt. Versuche, die hierüber von der Versuchsstation Halle [2]) ausgeführt wurden, hatten folgendes Ergebnis:

		Stickstoffverlust %
1. Sandboden mit 0,04 % $CaCO_3$	+ schwefels. Ammoniak	Spuren
	+ Kalkstickstoff	0,0
2. Humoser Lehmboden mit 0,46 % $CaCO_3$	+ schwefels. Ammoniak	12,7
	+ Kalkstickstoff	4,2
3. Kalkreicher Tonboden mit 18,75 % $CaCO_3$	+ schwefels. Ammoniak	5,3
	+ Kalkstickstoff	2,3
4. Kalkarmer Tonboden mit 0,13 % $CaCO_3$	+ schwefels. Ammoniak	1,2
	+ Kalkstickstoff	1,8

Aus diesen Versuchen geht folgendes hervor:

1. Auf kalkarmen Böden erleidet das schwefelsaure Ammoniak durch Verdunstung von Ammoniak keine Verluste.

[1]) Es betrifft dies besonders auch das absorptiv gebundene Kali, welches auf dem Wege des Basenaustausches in Lösung übergeführt wird.

[2]) Schneidewind, Die Stickstoffquellen und die Stickstoffdüngung, Berlin 1908, und Arbeiten der D. L.-G. Heft 146.

2. Auf sehr kalkreichen Tonböden mit hohen Mengen von abschlämmbaren Teilen sind die Verluste nicht groß.

3. Am größten sind die Verluste auf kalkreichen Böden mit geringeren Mengen von abschlämmbaren Teilen.

4. Bei sämtlichen Versuchen erlitt der Kalkstickstoff geringere Verluste als der Ammoniakstickstoff.

In Übereinstimmung mit diesen Laboratoriumsversuchen stehen nun auch die von der Versuchsstation Halle[1] neuerdings ausgeführten Vegetationsversuche. Es wurde geerntet:

	Kalkreicher Lößlehm		Kalkarmer Sandboden	
	Körner g	Stroh g	Körner g	Stroh g
Ohne Stickstoff	[illegible]	[illegible]	[illegible]	44,9
Schwefels. Ammoniak sofort mit dem Boden gemischt	[illegible]	[illegible]	72,6	92,1
Schwefels. Ammoniak acht Tage an der Oberfläche liegen gelassen	[illegible]	[illegible]	[illegible]	90,7
Kalkstickstoff sofort mit dem Boden gemischt	[illegible]	[illegible]	[illegible]	91,8
Kalkstickstoff acht Tage an der Oberfläche liegen gelassen	[illegible]	[illegible]	[illegible]9,5	86,7

Das acht Tage an der Oberfläche gelegene schwefelsaure Ammoniak hatte demnach auf dem kalkreichen Lößboden erhebliche Stickstoffverluste ergeben, wohingegen die Verluste beim Kalkstickstoff nur sehr gering waren. Auf dem kalkarmen Sandboden waren dagegen Verluste nicht eingetreten.

Auch von Wein nach dieser Richtung hin ausgeführte Feldversuche haben dasselbe Ergebnis gezeitigt. Es wurde im Mittel von vier verschiedenen Böden mit mehr oder weniger hohem Gehalt an kohlensaurem Kalk an Sommergerste geerntet:

	Dünger		
	untergepflügt Körner dz	eingeeggt Körner dz	aufgestreut Körner dz
Ohne Stickstoff	[illegible]	[illegible]	20,11
Chilesalpeter	[illegible]	25,72	26,07
Ammoniaksalz	25,85	24,85	23,68
Kalkstickstoff	[illegible]	[illegible]	25,42

Das aufgestreute Ammoniaksalz lieferte gegenüber eingeeggt einen Minderertrag von 1,17 und gegenüber untergepflügt von 2,17 dz, wohingegen der Kalkstickstoff beim Aufstreuen ebensogut gewirkt hatte wie der eingeeggte oder untergepflügte.

[1] [illegible] der Versuchsstation [illegible]

Durch Anwendung des schwefelsauren Ammoniaks als Ammoniak-superphosphat und sofortiges Unterbringen auf kalkreichen Böden mit Krümmer oder Egge lassen sich die Ammoniakverluste völlig verhüten. Eine Kopfdüngung mit schwefelsaurem Ammoniak vermeide man auf derartigen Böden.

3. Die Wirkung des Kalkes in chemisch-biologischer Beziehung.

a) Die Zersetzung der organischen Substanz.

Wenn organische Substanzen mit größeren Mengen von kohlensaurem Kalk oder Ätzkalk durchschichtet werden, so wird die Zersetzung derselben — bekanntlich eine Tätigkeit niederer Organismen — in erheblichem Grade beschleunigt. Das markanteste Beispiel nach dieser Richtung hin ist die Zersetzung des Hochmoorbodens durch größere Kalkdüngungen. So beobachtete Tacke, daß die Erträge stark gekalkter Hochmoorflächen infolge Verflachung der Ackerkrume schon nach kurzer Zeit bedeutend sanken, und daß nur durch eine Lockerung der tieferen Schichten diesem Übelstande entgegengearbeitet werden konnte. Auch die organischen Substanzen der Mineralböden erleiden durch den Kalk eine intensivere Zersetzung, wenn auch nicht in dem Maße wie die Humusböden. Die Wirkung, welche der Kalk nach dieser Richtung hin ausübt, kann eine günstige oder ungünstige sein. Eine günstige Wirkung ist vorhanden durch die gleichzeitige Löslichmachung derjenigen Nährstoffe, welche bei der Zersetzung der organischen Substanzen in aufnehmbare Pflanzennahrung übergeführt werden. Günstig ist ferner die Wirkung auf solchen Böden, welche einen relativ hohen Gehalt an organischen Substanzen besitzen, und in denen die Zersetzung derselben nicht in normaler Weise verläuft (Bildung saurer Humusstoffe). Ungünstig kann eine intensive Zersetzung der organischen Substanz auf leichten, humusarmen Böden wirken, wenn nicht für einen entsprechenden Ersatz durch Stallmist oder Gründüngung gesorgt wird. Ein genügender Humusgehalt ist für die leichten, durchlässigen Sandböden, denen es vielfach auch noch an dem genügenden Feuchtigkeitsgehalte fehlt, einer der wichtigsten Faktoren für den Wasserhaushalt im Boden und für die Sicherstellung der Ernteerträge. Die Wirkung, die der gebrannte Kalk auf die Zersetzung der organischen Substanz des Bodens ausübt, ist nun erheblich intensiver als diejenige des kohlensauren Kalkes, so daß überall dort, wo die Gefahr einer zu schnellen Zersetzung der Humusstoffe des Bodens zu befürchten ist, von einer Anwendung des gebrannten Kalkes abgesehen werden muß, wohingegen auf schweren, kalten Lehm- und Tonböden eine intensivere Wirkung auch nach dieser Richtung hin von Vorteil sein kann.

b) Die Ammoniakbildung und die Nitrifikation der stickstoffhaltigen Substanzen des Bodens.

Da die Humussubstanzen in ihrer Gesamtheit stickstoffhaltig sind, so ist die Überführung des unlöslichen Bodenstickstoffes in lösliche Verbindungen (Amide, Ammoniak, Salpeter) der beste Maßstab für die Wirkung, die der Kalk nach dieser Richtung hin auf die organischen Substanzen ausübt. In wie erheblichem Grade die Zersetzung organischer Stickstofformen durch den Kalk gefördert wird, geht aus Versuchen von Wohltmann, Fischer und Schneider[1]) hervor. Es wurden hierzu Bodenproben von verschieden gedüngten Parzellen des Poppelsdorfer Versuchsfeldes (schwerer Lehmboden) benutzt. Innerhalb drei Tagen waren folgende Mengen von Peptonstickstoff in Ammoniakstickstoff übergeführt worden:

Parzellen gedüngt mit:	%	Parzellen gedüngt mit:	%
Ungedüngt	15,8	Salpeter	16,9
Stalldünger	18,9	Kalk (gebrannt)	**25,1**
Phosphorsäure	16,3	Magnesia (gebrannt)	**23,1**
Kali	16,6	Kalk, Magnesia, Phosphorsäure, Kali	**28,2**
Schwefelsaurem Ammoniak	13,5		

Der Kalk wie auch die Magnesia haben die Ammonisierung des Peptonstickstoffes in erheblichem Grade gefördert. Am niedrigsten war die Ammoniakbildung auf den nur mit schwefelsaurem Ammoniak gedüngten Parzellen. Für den praktischen Erfolg kommt, wie auch Wohltmann besonders hervorhebt, es nicht allein auf die Zersetzung selbst, sondern auch auf die Art der Umsetzung und der entstehenden Produkte an (Anhäufung schädlicher Produkte auf schweren Böden im Gegensatz zu den leichten Sandböden).

Die Überführung des Ammoniakstickstoffes in Salpeterstickstoff ist nun der weitere Kreislauf des organischen Bodenstickstoffes bzw. der durch die Düngung dem Boden zugeführten Stickstoffmengen. Auch hier zeigen die Untersuchungen von Wohltmann den weitgehenden Einfluß des Kalkes auf die Nitrifikation. Es waren nach 50 Tagen vom Ammoniakstickstoff nitrifiziert worden:

Parzellen gedüngt mit:	%	Parzellen gedüngt mit:	%
Ungedüngt	14,1	Salpeter	31,9
Stalldünger	36,1	Kalk	**84,7**
Phosphorsäure	22,5	Magnesia	**69,6**
Kali	17,8	Kalk, Magnesia, Phosphorsäure, Kali	**77,4**
Schwefelsaurem Ammoniak	23,0		

[1]) Bodenbakteriologische und bodenchemische Studien. Journal für Landwirtschaft 1904.

Diese Zahlen lassen die günstige Wirkung des Kalkes und der Magnesia auf die Nitrifikation, welche in erster Linie auf die alkalische Bodenreaktion zurückgeführt werden muß, zur Genüge erkennen. Die Magnesiaparzellen zeigen eine schwächere Nitrifikation als die Kalkparzellen, welches aber weniger auf die Magnesia als solche, als vielmehr auf die erheblich geringeren Mengen, welche hiervon zur Anwendung gekommen waren, zurückzuführen ist[1]).

Auch aus den Untersuchungen von Wagner[2]) geht der erhebliche Einfluß des Kalkes auf die Salpeterbildung hervor. Es wurden von 100 Teilen Ammoniakstickstoff in 28 Tagen in Salpeter umgewandelt:

	Ohne Kalk:	Mit 5 g kohlensaurem Kalk auf 300 g Boden gedüngt:
1. Sandboden (0,05 % kohlens. Kalk)	13	**73**
2. „ (0,10 % „ „)	40	**87**
3. „ (0,24 % „ „)	17	**81**
4. Tonboden (2,66 % „ „)	80	**85**
5. Lehmboden (4,29 % „ „)	73	**85**

Bei den kalkreichen Böden hat der Zusatz von Kalk nur einen geringen, bei den kalkarmen Sandböden dagegen einen sehr bedeutenden Einfluß ausgeübt. Die Sandböden 1 und 3 bildeten ohne Kalk nur 13 bzw. 17, mit Kalk dagegen 73 bzw. 81 Teile Salpeter aus 100 Teilen Ammoniakstickstoff. Daß bei Boden 2 mit 0,10 % kohlensaurem Kalk gegenüber 3 mit 0,24 % Kalk die Umwandlung des Ammoniakstickstoffes erheblich schneller vor sich gegangen, wird auf die Beschaffenheit des Bodens und eventuell auch auf die Verteilung des kohlensauren Kalkes zurückzuführen sein, da ja die Nitrifikation auch noch von anderen Faktoren abhängig ist.

Nach den Untersuchungen von Polzeniusz[3]) ist für einen normalen Verlauf der Nitrifikation von Ammoniaksalzen die Gegenwart von kohlensaurem Kalk unbedingt notwendig, da selbst ein Kalkgehalt von 0,3 % in karbonatfreien Böden zur Nitrifikation des schwefelsauren Ammoniaks nicht ausreichte. Die chemische Bodenanalyse hat nach Polzeniusz daher auch den Nachweis und die Bestimmung des kohlensauren Kalkes zu berücksichtigen. Bei Anwendung von stickstoffhaltigen Düngemitteln organischer Natur war es dagegen gleich, ob der im Boden vorhandene Kalk als Karbonat oder in anderer Form enthalten war.

---

[1]) Die zur Anwendung gelangte Kalkmenge betrug in Summa 42,5 dz, die Magnesiamenge 10 dz.

[2]) Arbeiten der D. L. G. Heft 80.

[3]) Der Kalkgehalt des Bodens und die Nitrifikation. Zeitschr. für das landw. Versuchswesen in Österreich 1898.

Auch Lazzari, welcher auf einem Boden mit gutem Kalkgehalte, der aber frei von Karbonat war, bei Weizen durch Kalkdüngung nicht unbedeutende Mehrerträge erzielte, schließt aus seinen Untersuchungen, daß der in Form von Silikat gebundene Kalk für die Nitrifikation wertlos sei.

Da ein normaler Verlauf der Zersetzung und Nitrifikation stickstoffhaltiger Substanzen nur bei neutraler oder schwach alkalischer Reaktion des Bodens erfolgt, zahlreiche Böden aber, wie neuere Untersuchungen gezeigt haben, trotz genügenden Kalkgehaltes sauer reagieren können, so ist die Herbeiführung einer neutralen oder schwach alkalischen Bodenreaktion ein Haupterfordernis für einen günstigen Verlauf der Nitrifikation. Dies hat nicht nur Bedeutung für den Bodenstickstoff als solchen, sondern auch für alle stickstoffhaltigen Düngemittel, welche den Stickstoff nicht in Form von Salpeter enthalten (schwefelsaures Ammoniak, Kalkstickstoff, organischer Stickstoff des Stalldüngers, der Gründüngung und der stickstoffhaltigen organischen Düngemittel). Wir wissen zwar aus den Untersuchungen von Schneidewind und Krüger[1]), daß die Pflanzen befähigt sind, den Ammoniakstickstoff als solchen direkt aufzunehmen und zu verwerten. Die Wirkung des schwefelsauren Ammoniaks bleibt in der Praxis hinter der Salpeterwirkung aber vielfach erheblich zurück, wenn die Bedingungen für eine Überführung in Salpeterstickstoff keine günstigen sind, sei es, daß Kalkmangel als solcher die Ursache ist und die Schwefelsäure des schwefelsauren Ammoniaks nicht genügend neutralisiert werden kann[2]), oder daß der Boden einen ausgesprochen sauren Charakter zeigt. Das schwefelsaure Ammoniak ist in doppelter Richtung ein physiologisch saures Düngemittel. Einmal muß die Bindung der Schwefelsäure und sodann auch die Neutralisation der gebildeten Salpetersäure durch den Kalk des Bodens möglich sein.

Über die ungenügende Wirkung des schwefelsauren Ammoniaks bei Kalkmangel im Boden liegen nun auch verschiedene Beobachtungen vor. So ergaben von der Versuchsstation Posen[3]) ausgeführte Versuche, daß auf einem kalkarmen Boden der Salpeter erheblich besser wirkte als das schwefelsaure Ammoniak, und daß die Wirkung des letzteren durch eine Kalkdüngung wesentlich gesteigert werden konnte. Auch von der

---

[1]) Landw. Jahrbücher 1906 und Arbeiten der Versuchsstation Halle II.

[2]) Siehe S. 78.

[3]) Das landwirtschaftliche Versuchswesen Preußens 1901—1905. Landw. Jahrbücher 1908, Erg.-Bd.

Versuchsstation Königsberg wurde die gleiche Beobachtung gemacht. Da die fortgesetzte Anwendung eines physiologisch sauren Düngemittels wie des schwefelsauren Ammoniaks den Kalkgehalt des Bodens früher erschöpft (siehe Abschnitt H), so muß sich, wie auch Versuche von Wheeler[1]) ergeben haben, eine mangelhafte Wirkung desselben früher bemerkbar machen, als bei den Salpeterparzellen.

Die Nitrifikationsfähigkeit eines Bodens wird nun vielfach als ein Ausdruck des Fruchtbarkeitszustandes angesehen. Böden, die eine mangelhafte Nitrifikation zeigen, sind auch nach anderer Richtung hin häufig von abnormer Beschaffenheit.

Die Wirkung des gebrannten Kalkes auf die Aufschließung und Nitrifizierung des Bodenstickstoffes ist nun eine weit energischere als diejenige des kohlensauren Kalkes, wie aus Versuchen von Tacke und Immendorf[2]) hervorgeht. Der hierzu benutzte Boden war ein humusarmer Sandboden mit 0,03 % Stickstoff. Das Ergebnis dieser Versuche war folgendes. Es wurden gebildet:

	Ohne Kalk			Gebrannter Kalk			Mergel		
	Am.-N	Salp.-N	Gesamt-löslicher N	Am.-N	Salp.-N	Gesamt-löslicher N	Am.-N	Salp.-N	Gesamt-löslicher N
	mgr	mgr	mgr	mgr	mgr	mgr	mgr	mgr	mgr
nach 5 Wochen	2,3	41,1	44,1	3,8	**74,3**	**77,0**	3,1	63,2	66,6
„ 11 „	2,4	35,1	37,6	2,5	**86,0**	**87,0**	2,4	65,5	67,6

Durch den gebrannten Kalk ist die Salpeterbildung somit erheblich mehr gefördert worden als durch den kohlensauren Kalk (Mergel). Die intensive Zersetzung des Bodenstickstoffes durch den gebrannten Kalk kann auf leichten Böden von gewissem Nachteil sein. So zeigten auch bei den von Salfeld[3]) mit Erbsen ausgeführten Versuchen, bei denen infolge Mangel an wirksamen Knöllchenorganismen eine Knöllchenbildung nicht stattgefunden hatte, die mit Ätzkalk gedüngten Parzellen einen erheblich schlechteren Stand als die nicht mit Kalk gedüngten, eine Folge des eingetretenen Stickstoffhungers. Weiter berichtet Salfeld[4]), daß noch nach mehreren Jahren infolge mangelhafter Düngung zu Roggen und Hafer die ungünstige Wirkung von Ätzkalk auf leichtem Sandboden hervortrat. Die mit Ätzkalk gedüngten Parzellen standen infolge von Stickstoffhunger schlechter als die nicht gekalkten Parzellen.

---

[1]) Jahresbericht für Agrikulturchemie 1897.

[2]) Arbeiten der Moorversuchsstation Bremen. Vierter Bericht, Abschnitt VII. Landw. Jahrbücher 1898, Erg.-Bd.

[3]) Tacke a. a. O.

[4]) Das landwirtschaftliche Versuchswesen Preußens für das Jahr 1900. Landw. Jahrbücher, 1903, Erg.-Bd.

Bei mangelhafter Stickstoffdüngung hat somit die intensive Aufschließung des Bodenstickstoffes einen erheblichen Nachteil gebracht. Je höher die Kalk- und besonders die Ätzkalkdüngung ist, um so intensiver tritt natürlich auch die Aufschließung des Bodenstickstoffes ein. Man wende daher auf solchen Böden möglichst nur den kohlensauren Kalk an oder bemesse, wenn Ätzkalk gegeben werden soll, die Gaben möglichst gering.

Je höher der Stickstoffgehalt des Bodens und je weniger tätig ein Boden ist, um so weniger liegt natürlich die Gefahr vor, daß die Zersetzung des Bodenstickstoffes eine zu weitgehende wird. Welche Form des Kalkes daher für solche Böden zur Anwendung kommen soll, hat weniger von diesem Gesichtspunkte, als vielmehr vom Standpunkte der physikalischen Bodenverbesserung aus zu erfolgen. Da die bessere Durchlüftung und Lockerung schon an und für sich eine intensivere Aufschließung des Bodenstickstoffs bewirkt, so wird der Einfluß des Ätzkalkes hier ein weitgehenderer sein als derjenige des kohlensauren Kalkes.

c) Der Einfluß auf die Assimilation des atmosphärischen Stickstoffes durch frei im Boden lebende niedere Organismen.

Daß durch frei im Boden lebende Organismen eine Anreicherung des Bodens an Stickstoff stattfinden kann, ist durch zahlreiche Forscher festgestellt worden, so von Winogradsky bei den sog. Clostridiumorganismen, durch Beyerink, Heinze u. a. bei den blaugrünen Algen, durch Beyerink, Krüger und Schneidewind, Hiltner, Gerlach und Vogel, Koch, Heinze u. a. bei den sog. Azotobakterorganismen. Diese in normalen Böden überall verbreiteten Organismen sind unter gewissen Umständen sehr wohl imstande, nicht unbeträchtliche Mengen von atmosphärischem Stickstoff in organische Verbindungen überzuführen. So betrug z. B. die Stickstoffzunahme nach Versuchen von Heinze[1]):

	Stickstoffgehalt zu Beginn mg	Stickstoffgehalt am Ende mg	**Stickstoffzunahme mg**
25 g Lehmboden + 200 ccm Nährlösung	31,9	54,3	**22,4**
25 g Sandboden + 200 ccm „	14,5	48,5	**34,0**

Ein nennenswerter Stickstoffgewinn durch diese Organismen ist aber nur zu erwarten, wenn möglichst günstige Lebensbedingungen für dieselben geschaffen werden. Als solche kommen in Frage:

1. eine zweckmäßige Durchlüftung des Bodens. Es

---

[1]) Landw. Jahrbücher 1907 und Arbeiten der Versuchsstation Halle II.

wurden nach Untersuchungen von Schneider[1]) auf 1 g Glukose (als Nährstoffquelle) an Stickstoff gesammelt:

Parzelle ungedüngt,	Boden	gelockert	7,8 mg
„ „	„	fest	5,2 mg
„ gekalkt,	„	gelockert	9,8 mg
„ „	„	fest	5,8 mg

Der gelockerte Boden hat somit eine größere Stickstoffmenge assimiliert als der nicht gelockerte.

2. eine feste Kohlenstoffquelle, da diese Organismen nicht wie die höheren Pflanzen imstande sind, die Kohlensäure der Atmosphäre zu assimilieren.

3. die notwendigen Mineralstoffe, unter denen neben leicht assimilierbarer Phosphorsäure auch der Kalk besonders hervorzuheben ist. So ergaben von Heinze[2]) ausgeführte Versuche folgendes Resultat:

12,5 g Lehmboden + 100 ccm Nährlösung	Stickstoffgehalt der Kultur zu Beginn	Stickstoffgehalt der Kultur am Ende	Stickstoffzunahme
	mg	mg	mg
1 % kohlensaurer Kalk	14,0	50,9	**36,9**
2,5 % „ „	14,0	57,7	**43,7**
5 % „ „	14,0	63,6	**49,6**
10 % „ „	14,0	64,8	**50,8**

Mit steigendem Kalkgehalt hatte somit auch eine größere Stickstoffzunahme stattgefunden.

Über den Einfluß des Kalkes auf die Stickstoffassimilation liegen nun auch weitere Untersuchungen von Fischer[3]) und Schneider[4]) vor. Der zu diesen Versuchen benutzte Boden entstammte dem Poppelsdorfer Versuchsfelde und war eine ganze Reihe von Jahren in verschiedener Weise gedüngt worden. Azotobakterorganismen hatten sich nur in denjenigen Kulturen entwickelt, die von den mit Kalk bzw. Magnesia gedüngten Parzellen stammten. Wenn auch nicht anzunehmen ist, daß die ungekalkten Parzellen diese Organismen nicht enthalten haben, so zeigt dieser Versuch doch, daß die Entwicklungsfähigkeit der den Kalkparzellen entstammenden Organismen eine günstigere gewesen sein muß als von den übrigen Parzellen. Die Ursache hierfür werden wir in erster Linie auf die alkalische Reaktion des

[1]) Arbeiten der Landw. Akademie Bonn-Poppelsdorf II. Landw. Jahrbücher 1906, Erg.-Bd.

[2]) A. a. O.

[3]) Journal für Landw. 1905.

[4]) A. a. O.

sollen, so ist eine Zerstörung dieser Schicht durch tiefe Untergrundlockerung und die Zufuhr größerer Kalkmengen die Vorbedingung für eine erfolgreiche Bodenkultur, da die undurchdringliche Schicht sehr nachteilig auf das Tiefenwachstum der Wurzeln und dadurch auf die Entwicklung der ganzen Pflanze einwirkt.

Auch auf den kalkarmen schweren Marschböden bilden sich häufig im Untergrunde Ablagerungen von phosphorsaurem Eisen (Blaueisenerde oder Vivianit). Die Gegenwart derselben läßt auf die Kalkarmut der oberen Schichten schließen. „Der Gehalt an kohlensaurem Kalk bewahrt davor, daß sich im Untergrunde durch Eisen oder Humus oder durch beide hervorgerufene und für die Wurzeln undurchgängige Verhärtungen, daß sich der gefürchtete Eisenschuß und Raseneisenstein ausbilden können. Auf dieser Tatsache beruht zum Teil die große praktische Bedeutung des ‚Gesetzes des Kalkes und Eisens'" (Orth).

Inwieweit vermag nun die in der Düngung zugeführte Magnesia eine günstige Wirkung auch nach dieser Richtung hin auszuüben? Wir haben aus den Untersuchungen von Gerlach gesehen, daß die Löslichkeit der durch Kalk und Magnesia absorbierten Phosphorsäure in kohlensäurehaltigem Wasser gleich war, und daß sich beide Verbindungen hierin leicht lösten. Nach Pear kommt der Magnesia dadurch, daß sie die Phosphorsäure assimilierbarer macht, noch eine kleine Überlegenheit gegenüber dem Kalk zu. Nach Loew sind Magnesiumphosphate gegenüber den Kalkphosphaten in den Pflanzen von Vorteil, da erstens das sekundäre Magnesiumphosphat löslicher als das Kalksalz und daher wanderungsfähiger ist und zweitens einen Teil ihrer Phosphorsäure leichter abgibt. Loew folgert, daß die Funktion der Magnesia darin besteht, nach Umwandlung in sekundäres Phosphat die Bildung von Nuklein und Plastin für Zellkern und Chlorophyllkörper zu ermöglichen.

c) Der Einfluß auf die Kaliverbindungen des Bodens.

Die aufschließende Wirkung, die der Kalk, wie auch die Magnesia auf die schwer löslichen Kaliverbindungen des Bodens ausüben, sind von verschiedenen Forschern untersucht worden. So fand z. B. Fittbogen, welcher längere Zeit fein gepulverten Kalifeldspat den Wirkungen verschiedener Lösungen aussetzte, daß folgende Kalimengen aus 1 kg Kalifeldspat gelöst wurden:

Bei Anwendung	von	kohlensaurem Kalk	+	Kohlensäure	42,8	mg
„	„	„ kohlensaurer Magnesia	+	„	73,1	„
„	„	„ gebranntem Kalk	+	Wasser	151,1	„
„	„	„ gebrannter Magnesia	+	„	191,5	„

Der gebrannte Kalk zeigte somit eine erheblich größere Wirkung auf die Löslichkeit des Kalis wie der kohlensaure Kalk. Sowohl die kohlensaure wie die gebrannte Magnesia zeigten sich den entsprechenden Kalkformen in der Wirkung noch überlegen.

Eine erhebliche Erhöhung der Löslichkeit des Kalis im Boden durch den Kalk wurde auch von Pear festgestellt.

Die Wirkung, die besonders der gebrannte Kalk nach dieser Richtung hin ausübt, kann für die verschiedenen Böden von Vorteil oder auch von Nachteil sein. Auf tonerdereichen Böden mit einem hohen Gehalt an schwer zersetzbaren Kaliverbindungen muß die Löslichmachung des Bodenkalis als entschieden vorteilhaft angesehen werden, während bei kaliarmen, leichten Sandböden eine derartige Wirkung zu einer Verarmung an Kali [1]) beitragen kann. Wir werden hier auch dem viel weniger wirksamen kohlensauren Kalk im allgemeinen den Vorzug geben. Im übrigen darf bei der Billigkeit der kalihaltigen Düngemittel diesem Einflusse des Kalkes keine allzu große Bedeutung beigemessen werden.

d) Der Einfluß auf den Ammoniakstickstoff des Düngers.

Werden Ammoniaksalze auf Böden, welche einen hohen Gehalt an kohlensaurem Kalk besitzen, längere Zeit an der Oberfläche liegen gelassen, so kann ein erheblicher Verlust an Stickstoff eintreten, indem der kohlensaure Kalk des Bodens sich mit dem schwefelsauren Ammoniak zu leicht flüchtigem kohlensauren Ammoniak umsetzt. Versuche, die hierüber von der Versuchsstation Halle [2]) ausgeführt wurden, hatten folgendes Ergebnis:

		Stickstoffverlust %
1. Sandboden mit 0,04 % $CaCO_3$	+ schwefels. Ammoniak .	Spuren
	+ Kalkstickstoff	0,0
2. Humoser Lehmboden mit 0,46 % $CaCO_3$	+ schwefels. Ammoniak .	12,7
	+ Kalkstickstoff	4,2
3. Kalkreicher Tonboden mit 18,75 % $CaCO_3$	+ schwefels. Ammoniak .	5,3
	+ Kalkstickstoff	2,3
4. Kalkarmer Tonboden mit 0,13 % $CaCO_3$	+ schwefels. Ammoniak .	1,2
	+ Kalkstickstoff	1,8

Aus diesen Versuchen geht folgendes hervor:

1. Auf kalkarmen Böden erleidet das schwefelsaure Ammoniak durch Verdunstung von Ammoniak keine Verluste.

---

[1]) Es betrifft dies besonders auch das absorptiv gebundene Kali, welches auf dem Wege des Basenaustausches in Lösung übergeführt wird.

[2]) Schneidewind, Die Stickstoffquellen und die Stickstoffdüngung, Berlin 1908, und Arbeiten der D. L.-G. Heft 146.

2. Auf sehr kalkreichen Tonböden mit hohen Mengen von abschlämmbaren Teilen sind die Verluste nicht groß.

3. Am größten sind die Verluste auf kalkreichen Böden mit geringeren Mengen von abschlämmbaren Teilen.

4. Bei sämtlichen Versuchen erlitt der Kalkstickstoff geringere Verluste als der Ammoniakstickstoff.

In Übereinstimmung mit diesen Laboratoriumsversuchen stehen nun auch die von der Versuchsstation Halle[1]) neuerdings ausgeführten Vegetationsversuche. Es wurde geerntet:

	Kalkreicher Lößlehm		Kalkarmer Sandboden	
	Körner g	Stroh g	Körner g	Stroh g
Ohne Stickstoff	29,0	58,2	28,4	44,9
Schwefels. Ammoniak sofort mit dem Boden gemischt	68,7	108,6	72,6	92,1
Schwefels. Ammoniak acht Tage an der Oberfläche liegen gelassen	43,4	82,6	69,7	90,7
Kalkstickstoff sofort mit dem Boden gemischt	68,5	106,0	68,9	91,8
Kalkstickstoff acht Tage an der Oberfläche liegen gelassen	63,1	104,3	69,5	86,7

Das acht Tage an der Oberfläche gelagerte schwefelsaure Ammoniak hatte demnach auf dem kalkreichen Lößboden erhebliche Stickstoffverluste erlitten, wohingegen die Verluste beim Kalkstickstoff nur sehr gering waren. Auf dem kalkarmen Sandboden waren dagegen Verluste nicht eingetreten.

Auch von Wein nach dieser Richtung hin ausgeführte Feldversuche haben dasselbe Ergebnis geliefert. Es wurde im Mittel von vier verschiedenen Böden mit mehr oder weniger hohem Gehalt an kohlensaurem Kalk an Sommergerste geerntet:

	Dünger		
	untergepflügt Körner dz	eingeeggt Körner dz	aufgestreut Körner dz
Ohne Stickstoff	20,11	20,11	20,11
Chilesalpeter	26,02	25,72	26,07
Ammoniaksalz	25,85	24,85	23,68
Kalkstickstoff	25,49	25,31	25,42

Das aufgestreute Ammoniaksalz lieferte gegenüber eingeeggt einen Minderertrag von 1,17 und gegenüber untergepflügt von 2,17 dz, wohingegen der Kalkstickstoff beim Aufstreuen ebensogut gewirkt hatte wie der eingeeggte oder untergepflügte.

[1]) Schneidewind, Landw. Jahrbücher 1910 und Arbeiten der Versuchsstation Halle III.

Durch Anwendung des schwefelsauren Ammoniaks als Ammoniak-superphosphat und sofortiges Unterbringen auf kalkreichen Böden mit Krümmer oder Egge lassen sich die Ammoniakverluste völlig verhüten. Eine Kopfdüngung mit schwefelsaurem Ammoniak vermeide man auf derartigen Böden.

3. Die Wirkung des Kalkes in chemisch-biologischer Beziehung.

a) Die Zersetzung der organischen Substanz.

Wenn organische Substanzen mit größeren Mengen von kohlen-saurem Kalk oder Ätzkalk durchschichtet werden, so wird die Zersetzung derselben — bekanntlich eine Tätigkeit niederer Organismen — in erheblichem Grade beschleunigt. Das markanteste Beispiel nach dieser Richtung hin ist die Zersetzung des Hochmoorbodens durch größere Kalk-düngungen. So beobachtete Tacke, daß die Erträge stark gekalkter Hochmoorflächen infolge Verflachung der Ackerkrume schon nach kurzer Zeit bedeutend sanken, und daß nur durch eine Lockerung der tieferen Schichten diesem Übelstande entgegengearbeitet werden konnte. Auch die organischen Substanzen der Mineralböden erleiden durch den Kalk eine intensivere Zersetzung, wenn auch nicht in dem Maße wie die Humusböden. Die Wirkung, welche der Kalk nach dieser Richtung hin ausübt, kann eine günstige oder ungünstige sein. Eine günstige Wirkung ist vorhanden durch die gleichzeitige Löslichmachung derjenigen Nährstoffe, welche bei der Zersetzung der organischen Substanzen in aufnehmbare Pflanzennahrung übergeführt werden. Günstig ist ferner die Wirkung auf solchen Böden, welche einen relativ hohen Gehalt an organischen Substanzen besitzen, und in denen die Zersetzung derselben nicht in normaler Weise verläuft (Bildung saurer Humusstoffe). Ungünstig kann eine intensive Zersetzung der organischen Substanz auf leichten, humusarmen Böden wirken, wenn nicht für einen entsprechenden Ersatz durch Stallmist oder Gründüngung gesorgt wird. Ein genügender Humusgehalt ist für die leichten, durchlässigen Sandböden, denen es vielfach auch noch an dem genügenden Feuchtigkeitsgehalte fehlt, einer der wichtigsten Faktoren für den Wasserhaushalt im Boden und für die Sicherstellung der Ernteerträge. Die Wirkung, die der gebrannte Kalk auf die Zersetzung der organischen Substanz des Bodens ausübt, ist nun erheblich intensiver als diejenige des kohlensauren Kalkes, so daß überall dort, wo die Gefahr einer zu schnellen Zersetzung der Humusstoffe des Bodens zu befürchten ist, von einer Anwendung des gebrannten Kalkes abgesehen werden muß, wohingegen auf schweren, kalten Lehm- und Tonböden eine intensivere Wirkung auch nach dieser Richtung hin von Vorteil sein kann.

b) Die Ammoniakbildung und die Nitrifikation der stickstoffhaltigen Substanzen des Bodens.

Da die Humussubstanzen in ihrer Gesamtheit stickstoffhaltig sind, so ist die Überführung des unlöslichen Bodenstickstoffes in lösliche Verbindungen (Amide, Ammoniak, Salpeter) der beste Maßstab für die Wirkung, die der Kalk nach dieser Richtung hin auf die organischen Substanzen ausübt. In wie erheblichem Grade die Zersetzung organischer Stickstofformen durch den Kalk gefördert wird, geht aus Versuchen von Wohltmann, Fischer und Schneider[1]) hervor. Es wurden hierzu Bodenproben von verschieden gedüngten Parzellen des Poppelsdorfer Versuchsfeldes (schwerer Lehmboden) benutzt. Innerhalb drei Tagen waren folgende Mengen von Peptonstickstoff in Ammoniakstickstoff übergeführt worden:

Parzellen gedüngt mit:	%	Parzellen gedüngt mit:	%
Ungedüngt	15,8	Salpeter	16,9
Stalldünger	18,9	Kalk (gebrannt)	**25,1**
Phosphorsäure	16,3	Magnesia (gebrannt)	**23,1**
Kali	16,6	Kalk, Magnesia, Phosphorsäure, Kali	**28,2**
Schwefelsaurem Ammoniak	13,5		

Der Kalk wie auch die Magnesia haben die Ammonisierung des Peptonstickstoffes in erheblichem Grade gefördert. Am niedrigsten war die Ammoniakbildung auf den nur mit schwefelsaurem Ammoniak gedüngten Parzellen. Für den praktischen Erfolg kommt, wie auch Wohltmann besonders hervorhebt, es nicht allein auf die Zersetzung selbst, sondern auch auf die Art der Umsetzung und der entstehenden Produkte an (Anhäufung schädlicher Produkte auf schweren Böden im Gegensatz zu den leichten Sandböden).

Die Überführung des Ammoniakstickstoffes in Salpeterstickstoff ist nun der weitere Kreislauf des organischen Bodenstickstoffes bzw. der durch die Düngung dem Boden zugeführten Stickstoffmengen. Auch hier zeigen die Untersuchungen von Wohltmann den weitgehenden Einfluß des Kalkes auf die Nitrifikation. Es waren nach 50 Tagen vom Ammoniakstickstoff nitrifiziert worden:

Parzellen gedüngt mit:	%	Parzellen gedüngt mit:	%
Ungedüngt	14,1	Salpeter	31,9
Stalldünger	36,1	Kalk	**84,7**
Phosphorsäure	22,5	Magnesia	**69,6**
Kali	17,8	Kalk, Magnesia, Phosphorsäure, Kali	**77,4**
Schwefelsaurem Ammoniak	23,0		

[1]) Bodenbakteriologische und bodenchemische Studien. Journal für Landwirtschaft 1904.

Diese Zahlen lassen die günstige Wirkung des Kalkes und der Magnesia auf die Nitrifikation, welche in erster Linie auf die alkalische Bodenreaktion zurückgeführt werden muß, zur Genüge erkennen. Die Magnesiaparzellen zeigen eine schwächere Nitrifikation als die Kalkparzellen, welches aber weniger auf die Magnesia als solche, als vielmehr auf die erheblich geringeren Mengen, welche hiervon zur Anwendung gekommen waren, zurückzuführen ist[1]).

Auch aus den Untersuchungen von Wagner[2]) geht der erhebliche Einfluß des Kalkes auf die Salpeterbildung hervor. Es wurden von 100 Teilen Ammoniakstickstoff in 28 Tagen in Salpeter umgewandelt:

	Ohne Kalk:	Mit 5 g kohlensaurem Kalk auf 300 g Boden gedüngt:
1. Sandboden (0,05 % kohlens. Kalk)	13	73
2. „ (0,10 % „ „)	40	87
3. „ (0,24 % „ „)	17	81
4. Tonboden (2,66 % „ „)	80	85
5. Lehmboden (4,29 % „ „)	73	85

Bei den kalkreichen Böden hat der Zusatz von Kalk nur einen geringen, bei den kalkarmen Sandböden dagegen einen sehr bedeutenden Einfluß ausgeübt. Die Sandböden 1 und 3 bildeten ohne Kalk nur 13 bzw. 17, mit Kalk dagegen 73 bzw. 81 Teile Salpeter aus 100 Teilen Ammoniakstickstoff. Daß bei Boden 2 mit 0,10 % kohlensaurem Kalk gegenüber 3 mit 0,24 % Kalk die Umwandlung des Ammoniakstickstoffes erheblich schneller vor sich gegangen, wird auf die Beschaffenheit des Bodens und eventuell auch auf die Verteilung des kohlensauren Kalkes zurückzuführen sein, da ja die Nitrifikation auch noch von anderen Faktoren abhängig ist.

Nach den Untersuchungen von Polzeniusz[3]) ist für einen normalen Verlauf der Nitrifikation von Ammoniaksalzen die Gegenwart von kohlensaurem Kalk unbedingt notwendig, da selbst ein Kalkgehalt von 0,3 % in karbonatfreien Böden zur Nitrifikation des schwefelsauren Ammoniaks nicht ausreichte. Die chemische Bodenanalyse hat nach Polzeniusz daher auch den Nachweis und die Bestimmung des kohlensauren Kalkes zu berücksichtigen. Bei Anwendung von stickstoffhaltigen Düngemitteln organischer Natur war es dagegen gleich, ob der im Boden vorhandene Kalk als Karbonat oder in anderer Form enthalten war.

---

[1]) Die zur Anwendung gelangte Kalkmenge betrug in Summa 42,5 dz, die Magnesiamenge 10 dz.

[2]) Arbeiten der D. L. G. Heft 80.

[3]) Der Kalkgehalt des Bodens und die Nitrifikation. Zeitschr. für das landw. Versuchswesen in Österreich 1898.

Auch Lazzari, welcher auf einem Boden mit gutem Kalkgehalte, der aber frei von Karbonat war, bei Weizen durch Kalkdüngung nicht unbedeutende Mehrerträge erzielte, schließt aus seinen Untersuchungen, daß der in Form von Silikat gebundene Kalk für die Nitrifikation wertlos sei.

Da ein normaler Verlauf der Zersetzung und Nitrifikation stickstoffhaltiger Substanzen nur bei neutraler oder schwach alkalischer Reaktion des Bodens erfolgt, zahlreiche Böden aber, wie neuere Untersuchungen gezeigt haben, trotz genügenden Kalkgehaltes sauer reagieren können, so ist die Herbeiführung einer neutralen oder schwach alkalischen Bodenreaktion ein Haupterfordernis für einen günstigen Verlauf der Nitrifikation. Dies hat nicht nur Bedeutung für den Bodenstickstoff als solchen, sondern auch für alle stickstoffhaltigen Düngemittel, welche den Stickstoff nicht in Form von Salpeter enthalten (schwefelsaures Ammoniak, Kalkstickstoff, organischer Stickstoff des Stalldüngers, der Gründüngung und der stickstoffhaltigen organischen Düngemittel). Wir wissen zwar aus den Untersuchungen von Schneidewind und Krüger[1]), daß die Pflanzen befähigt sind, den Ammoniakstickstoff als solchen direkt aufzunehmen und zu verwerten. Die Wirkung des schwefelsauren Ammoniaks bleibt in der Praxis hinter der Salpeterwirkung aber vielfach erheblich zurück, wenn die Bedingungen für eine Überführung in Salpeterstickstoff keine günstigen sind, sei es, daß Kalkmangel als solcher die Ursache ist und die Schwefelsäure des schwefelsauren Ammoniaks nicht genügend neutralisiert werden kann[2]), oder daß der Boden einen ausgesprochen sauren Charakter zeigt. Das schwefelsaure Ammoniak ist in doppelter Richtung ein physiologisch saures Düngemittel. Einmal muß die Bindung der Schwefelsäure und sodann auch die Neutralisation der gebildeten Salpetersäure durch den Kalk des Bodens möglich sein.

Über die ungenügende Wirkung des schwefelsauren Ammoniaks bei Kalkmangel im Boden liegen nun auch verschiedene Beobachtungen vor. So ergaben von der Versuchsstation Posen[3]) ausgeführte Versuche, daß auf einem kalkarmen Boden der Salpeter erheblich besser wirkte als das schwefelsaure Ammoniak, und daß die Wirkung des letzteren durch eine Kalkdüngung wesentlich gesteigert werden konnte. Auch von der

---

[1]) Landw. Jahrbücher 1906 und Arbeiten der Versuchsstation Halle II.

[2]) Siehe S. 78.

[3]) Das landwirtschaftliche Versuchswesen Preußens 1901—1905. Landw. Jahrbücher 1908, Erg.-Bd.

Versuchsstation Königsberg wurde die gleiche Beobachtung gemacht. Da die fortgesetzte Anwendung eines physiologisch sauren Düngemittels wie des schwefelsauren Ammoniaks den Kalkgehalt des Bodens früher erschöpft (siehe Abschnitt H), so muß sich, wie auch Versuche von Wheeler[1]) ergeben haben, eine mangelhafte Wirkung desselben früher bemerkbar machen, als bei den Salpeterparzellen.

Die Nitrifikationsfähigkeit eines Bodens wird nun vielfach als ein Ausdruck des Fruchtbarkeitszustandes angesehen. Böden, die eine mangelhafte Nitrifikation zeigen, sind auch nach anderer Richtung hin häufig von abnormer Beschaffenheit.

Die Wirkung des gebrannten Kalkes auf die Aufschließung und Nitrifizierung des Bodenstickstoffes ist nun eine weit energischere als diejenige des kohlensauren Kalkes, wie aus Versuchen von Tacke und Immendorf[2]) hervorgeht. Der hierzu benutzte Boden war ein humusarmer Sandboden mit 0,03 % Stickstoff. Das Ergebnis dieser Versuche war folgendes. Es wurden gebildet:

	Ohne Kalk			Gebrannter Kalk			Mergel		
	Am.-N	Salp.-N	Gesamt-löslicher N	Am.-N	Salp.-N	Gesamt-löslicher N	Am.-N	Salp.-N	Gesamt-löslicher N
	mgr	mgr	mgr	mgr	mgr	mgr	mgr	mgr	mgr
nach 5 Wochen	2,3	41,1	44,1	3,8	**74,3**	**77,0**	3,1	63,2	66,6
„ 11 „	2,4	35,1	37,6	2,5	**86,0**	**87,0**	2,4	65,5	67,6

Durch den gebrannten Kalk ist die Salpeterbildung somit erheblich mehr gefördert worden als durch den kohlensauren Kalk (Mergel). Die intensive Zersetzung des Bodenstickstoffes durch den gebrannten Kalk kann auf leichten Böden von gewissem Nachteil sein. So zeigten auch bei den von Salfeld[3]) mit Erbsen ausgeführten Versuchen, bei denen infolge Mangel an wirksamen Knöllchenorganismen eine Knöllchenbildung nicht stattgefunden hatte, die mit Ätzkalk gedüngten Parzellen einen erheblich schlechteren Stand als die nicht mit Kalk gedüngten, eine Folge des eingetretenen Stickstoffhungers. Weiter berichtet Salfeld[4]), daß noch nach mehreren Jahren infolge mangelhafter Düngung zu Roggen und Hafer die ungünstige Wirkung von Ätzkalk auf leichtem Sandboden hervortrat. Die mit Ätzkalk gedüngten Parzellen standen infolge von Stickstoffhunger schlechter als die nicht gekalkten Parzellen.

[1]) Jahresbericht für Agrikulturchemie 1897.

[2]) Arbeiten der Moorversuchsstation Bremen. Vierter Bericht, Abschnitt VII. Landw. Jahrbücher 1898, Erg.-Bd.

[3]) Tacke a. a. O.

[4]) Das landwirtschaftliche Versuchswesen Preußens für das Jahr 1900. Landw. Jahrbücher, 1903, Erg.-Bd.

Bei mangelhafter Stickstoffdüngung hat somit die intensive Aufschließung des Bodenstickstoffes einen erheblichen Nachteil gebracht. Je höher die Kalk- und besonders die Ätzkalkdüngung ist, um so intensiver tritt natürlich auch die Aufschließung des Bodenstickstoffes ein. Man wende daher auf solchen Böden möglichst nur den kohlensauren Kalk an oder bemesse, wenn Ätzkalk gegeben werden soll, die Gaben möglichst gering.

Je höher der Stickstoffgehalt des Bodens und je weniger tätig ein Boden ist, um so weniger liegt natürlich die Gefahr vor, daß die Zersetzung des Bodenstickstoffes eine zu weitgehende wird. Welche Form des Kalkes daher für solche Böden zur Anwendung kommen soll, hat weniger von diesem Gesichtspunkte, als vielmehr vom Standpunkte der physikalischen Bodenverbesserung aus zu erfolgen. Da die bessere Durchlüftung und Lockerung schon an und für sich eine intensivere Aufschließung des Bodenstickstoffs bewirkt, so wird der Einfluß des Ätzkalkes hier ein weitgehenderer sein als derjenige des kohlensauren Kalkes.

c) Der Einfluß auf die Assimilation des atmosphärischen Stickstoffes durch frei im Boden lebende niedere Organismen.

Daß durch frei im Boden lebende Organismen eine Anreicherung des Bodens an Stickstoff stattfinden kann, ist durch zahlreiche Forscher festgestellt worden, so von Winogradsky bei den sog. Clostridiumorganismen, durch Beyerink, Heinze u. a. bei den blaugrünen Algen, durch Beyerink, Krüger und Schneidewind, Hiltner, Gerlach und Vogel, Koch, Heinze u. a. bei den sog. Azotobakterorganismen. Diese in normalen Böden überall verbreiteten Organismen sind unter gewissen Umständen sehr wohl imstande, nicht unbeträchtliche Mengen von atmosphärischem Stickstoff in organische Verbindungen überzuführen. So betrug z. B. die Stickstoffzunahme nach Versuchen von Heinze[1]):

	Stickstoffgehalt zu Beginn	Stickstoffgehalt am Ende	Stickstoffzunahme
	mg	mg	mg
25 g Lehmboden + 200 ccm Nährlösung	31,9	54,3	**22,4**
25 g Sandboden + 200 ccm „	14,5	48,5	**34,0**

Ein nennenswerter Stickstoffgewinn durch diese Organismen ist aber nur zu erwarten, wenn möglichst günstige Lebensbedingungen für dieselben geschaffen werden. Als solche kommen in Frage:

1. eine zweckmäßige Durchlüftung des Bodens. Es

[1]) Landw. Jahrbücher 1907 und Arbeiten der Versuchsstation Halle II.

wurden nach Untersuchungen von Schneider[1]) auf 1 g Glukose (als Nährstoffquelle) an Stickstoff gesammelt:

Parzelle	ungedüngt,	Boden	gelockert	7,8 mg
„	„	„	fest	5,2 mg
„	gekalkt,	„	gelockert	9,8 mg
„	„	„	fest	5,8 mg

Der gelockerte Boden hat somit eine größere Stickstoffmenge assimiliert als der nicht gelockerte.

2. eine feste Kohlenstoffquelle, da diese Organismen nicht wie die höheren Pflanzen imstande sind, die Kohlensäure der Atmosphäre zu assimilieren.

3. die notwendigen Mineralstoffe, unter denen neben leicht assimilierbarer Phosphorsäure auch der Kalk besonders hervorzuheben ist. So ergaben von Heinze[2]) ausgeführte Versuche folgendes Resultat:

12,5 g Lehmboden + 100 ccm Nährlösung	Stickstoffgehalt der Kultur zu Beginn	Stickstoffgehalt der Kultur am Ende	Stickstoffzunahme
	mg	mg	mg
1 % kohlensaurer Kalk	14,0	50,9	**36,9**
2,5 % „ „	14,0	57,7	**43,7**
5 % „ „	14,0	63,6	**49,6**
10 % „ „	14,0	64,8	**50,8**

Mit steigendem Kalkgehalt hatte somit auch eine größere Stickstoffzunahme stattgefunden.

Über den Einfluß des Kalkes auf die Stickstoffassimilation liegen nun auch weitere Untersuchungen von Fischer[3]) und Schneider[4]) vor. Der zu diesen Versuchen benutzte Boden entstammte dem Poppelsdorfer Versuchsfelde und war eine ganze Reihe von Jahren in verschiedener Weise gedüngt worden. Azotobakterorganismen hatten sich nur in denjenigen Kulturen entwickelt, die von den mit Kalk bzw. Magnesia gedüngten Parzellen stammten. Wenn auch nicht anzunehmen ist, daß die ungekalkten Parzellen diese Organismen nicht enthalten haben, so zeigt dieser Versuch doch, daß die Entwicklungsfähigkeit der den Kalkparzellen entstammenden Organismen eine günstigere gewesen sein muß als von den übrigen Parzellen. Die Ursache hierfür werden wir in erster Linie auf die alkalische Reaktion des

---

[1]) Arbeiten der Landw. Akademie Bonn-Poppelsdorf II. Landw. Jahrbücher 1906, Erg.-Bd.

[2]) A. a. O.

[3]) Journal für Landw. 1905.

[4]) A. a. O.

Bodens der gekalkten Parzellen zurückzuführen haben, welche den stickstoffassimilierenden Organismen besonders zusagt. Mangel an Kalk bzw. schwach saure Bodenreaktion ließ die Schimmelpilze zu starker Entwicklung kommen, wobei die Stickstoffsammlung erheblich zurückblieb, während der Boden von den gekalkten Parzellen stets frei von Schimmel blieb. Ferner kann auch eine weitgehende Zersetzung der Humussubstanzen durch den Kalk von Einfluß auf die Entwicklung der Organismen gewesen sein. Es werden besonders auch Fäulnisbakterien in ihrer Entwicklung begünstigt, welche ihrerseits die stickstoffbindenden Organismen mit leicht assimilierbaren Kohlenstoffverbindungen versorgen. Auch die günstige physikalische Beschaffenheit, welche dieser Boden durch den Kalk erhalten hat, wird nicht ohne Einfluß auf die Entwicklung dieser Organismen gewesen sein.

Nach Beobachtungen von Wohltmann zeigten die gekalkten Parzellen auch eine stärkere Algenvegetation (Chlorophyceen und Cyanophyceen), welche als Kohlenstoffsammler für die stickstoffassimilierenden Organismen infolge ihres metabiotischen Zusammenlebens mit denselben von Bedeutung sind.

Die Gegenwart von Azotobakterorganismen ist nach Remy[1]) von weittragender Bedeutung für die bakterielle Diagnose des Ackerbodens. Mit reichlicher Azotobaktervegetation ging die Bodengare Hand in Hand, während das Fehlen von Azotobakter einen der Fruchtbarkeit nachteiligen Bodenzustand anzeigte. Auch die von Remy mit Böden von abnormer Beschaffenheit ausgeführten Untersuchungen führten zu dem Ergebnis, daß Kalkarmut, saure Reaktion und schwache bakterielle Lebensäußerungen die Ursache hierfür waren.

d) Der Einfluß auf die Gare des Bodens.

Es ist schon bei dem Abschnitte über den Einfluß des Kalkes auf die physikalischen Bodeneigenschaften auf die hohe Bedeutung einer richtigen Krümelstruktur und Gare bei allen an abschlämmbaren Teilen reichen Böden hingewiesen worden. Während die Krümelstruktur in erster Linie auf den direkten Einfluß des Kalkes zurückzuführen ist, ist die eigentliche Gare in der Hauptsache auf die Tätigkeit niederer Organismen zurückzuführen. Alle Maßnahmen, welche diese Organismen in ihrer Tätigkeit fördern, fördern somit auch die Herbeiführung einer günstigen Bodenbeschaffenheit. Inwieweit der Kalk nach dieser Richtung einen speziellen günstigen Einfluß ausübt, ist bis jetzt nicht Gegenstand eingehender Untersuchungen gewesen. Nach Untersuchungen von Heinze[2]) übt der Kalk

---

[1]) Bodenchemische und bodenbakteriologische Studien. Arbeiten der Akademie Bonn-Poppelsdorf II. Landw. Jahrbücher 1906, Erg.-Bd.

[2]) Landw. Jahrbücher 1910 und Arbeiten der Versuchsstation Halle III.

auf die Entwicklung verschiedener Streptothrixarten, welche neben Pektinvergärern und Schimmelpilzen (letztere beiden als organische Säurebildner) bei der Bildung der Bodengare mit in Frage kommen, einen vielfach fördernden Einfluß aus. Wir können daher annehmen, daß der Kalk direkt und indirekt die Gare erheblich fördert. Kann doch schon die Förderung der Krümelstruktur durch den Kalk als die Grundlage angesehen werden, ohne welche eine normale Herbeiführung der Bodengare kaum erreichbar sein dürfte.

Wenn wir das in diesem Abschnitte Ausgeführte noch einmal kurz zusammenfassen, so kommen wir zu dem Ergebnis, daß dem Kalk ein außerordentlich weitgehender Einfluß auf den gesamten Fruchtbarkeitszustand des Bodens zukommt. Wir haben gesehen, welch günstige Wirkung der Kalk auf schwere Böden ausübt, wie durch denselben eventuell in Verbindung mit dem Stalldünger erst die Möglichkeit einer zweckmäßigen Bodenbearbeitung, die in der Herstellung von Krümelstruktur und Gare ihren Ausdruck findet, erreicht wird. Wir haben ferner gesehen, welcher Einfluß dem Kalk auf die Herbeiführung einer neutralen Bodenreaktion, die Erhaltung der Wirksamkeit der Phosphorsäure und die Verhinderung der Wanderung derselben in tiefere Bodenschichten zukommt, wie ferner auch die übrigen Mineralstoffe einem erhöhten Löslichwerden unterliegen. Einen sehr weitgehenden Einfluß zeigt der Kalk ferner auf die Aufschließung der Humusverbindungen, auf die Nitrifikation des Bodenstickstoffes und der durch die Düngung dem Boden zugeführten Stickstoffmengen und auf die Assimilation des atmosphärischen Stickstoffes durch niedere Organismen. Alle diese Prozesse verlaufen bei **Kalkmangel** und besonders bei **saurer Bodenreaktion** nur sehr ungenügend und zum Teil in wenig günstiger Weise. Es kommt dem Kalk somit ein so bedeutsamer Einfluß auf die gesamte Bakterientätigkeit im Boden wie keinem anderen Nährstoff zu. Daß hiervon auch die Kulturpflanzen einen wesentlichen Vorteil haben, der vielfach höher sein kann als die direkte Wirkung des Kalkes auf das Pflanzenwachstum, dürfte wohl hieraus zur Genüge hervorgehen. Wenn diese Erkenntnis erst in weitere Kreise der prak-

tischen Landwirtschaft gedrungen ist, wird man der Kalkdüngung auch ein größeres Interesse zuwenden, als es bis jetzt noch vielfach der Fall ist.

C. Die Kalkverbindungen der Ackererden und die Ermittelung der Kalkbedürftigkeit der verschiedenen Böden.

1. Die verschiedenen Kalkformen im Boden und ihre Verteilung auf die einzelnen Korngrössen.

Über die verschiedenen Formen des Kalkes im Boden und ihre Verteilung auf die einzelnen Korngrößen, welche für die Ausarbeitung einer Methode zur Bestimmung des leicht aufnehmbaren Kalkes im Boden wertvolle Unterlagen ergeben mußten, liegen nur verhältnismäßig wenig Untersuchungen vor. So fand Puchner[1]), daß mit zunehmender Feinheit der Bodenbestandteile deren Gehalt an Kalk und Magnesia keine regelmäßigen Beziehungen aufweist, sondern sehr wechseln kann. Auch vom Verfasser[2]) sind hierüber Untersuchungen ausgeführt worden, deren Ergebnisse die folgenden waren:

1. Der Gehalt an kohlensaurem Kalk war bei den meisten Böden ein auffallend niedriger. Der Kohlensäuregehalt schwankte von 0,020 bis 0,076 und betrug im Mittel 0,045 %. In Form von kohlensaurem Kalk waren enthalten in Prozenten des Gesamtkalkes (in konzentrierter Salzsäure löslich):

über 5 %	bei 1 Probe,		25—30 %	bei 6 Proben,	
5—10 %	„ 3 Proben,		30—35 %	„ 1 Probe,	
10—15 %	„ 3 „		35—40 %	„ 1 „	
15—20 %	„ 4 „		45—50 %	„ 1 „	
20—25 %	„ 3 „		über 50 %	bei keiner Probe.	

Die größere Mehrzahl (56 %) der untersuchten Erden enthielt demnach weniger als 25 % des Kalkes in Form von kohlensaurem Kalk. Von 100 Teilen Kalk waren vorhanden in Form von kohlensaurem Kalk:

bei den leichten Böden 25,7 Teile,
„ „ schweren „ 19,1 „

---

[1]) Landw. Versuchsstationen 1907.
[2]) Landw. Jahrbücher 1900.

Wenn auch bei den leichten Böden eine etwas größere Menge des Gesamtkalkes in Form von kohlensaurem Kalk vorhanden war, so trifft doch die Ansicht nicht zu, daß die leichten Böden den Kalk größtenteils in dieser Form enthalten. Auch die von Weibull[1]) ausgeführten zahlreichen Untersuchungen bestätigen dies.

2. Böden mit gleichem Kohlensäuregehalt verhielten sich völlig verschieden in bezug auf ihren Kalkgehalt. Ergab die Analyse einen ansehnlichen Gehalt an Kohlensäure, so konnte man im allgemeinen einen guten Kalkgehalt im Boden annehmen, war dagegen der Gehalt eines Bodens an Kohlensäure gering, so ließ dies keineswegs auf einen niedrigen Kalkgehalt schließen.

3. Humussaurer Kalk war mit Ausnahme des Niederungsmoorbodens in den Mineralböden nicht enthalten.

4. Von 100 Teilen des im Gesamtboden enthaltenen Kalkes fanden sich vor:

	in den Korngrößen 0,2—6 mm	im Feinsand	im Staub
Minimum . . .	—	—	11,8
Maximum . . .	62,3	69,9	91,3
Mittel	24,1	21,6	54,3

In den schweren Böden, wo die gröberen Bestandteile gegenüber den feineren sehr zurücktreten, fand sich im Staub die größte Menge des im gesamten Boden enthaltenen Kalkes vor. Die gröberen Bestandteile der leichten Böden enthielten zum Teil recht bedeutende Kalkmengen, wie folgende Zahlen zeigen. Es waren enthalten:

	leichte Böden			schwere Böden		
	Min.	Max.	Mittel	Min.	Max.	Mittel
In den Korngrößen 0,2—6 mm	1,8	62,3	32,8	—	16,6	8,5
Im Feinsand	0,9	69,6	27,1	—	30,6	11,7
Im Staub . . . . . , . .	11,8	84,1	39,3	59,8	91,3	81,1

5. Von 100 Teilen im Boden enthaltenen kohlensauren Kalkes waren enthalten

	in den Korngrößen 0,2—6 mm	im Feinsand	im Staub
Minimum . . .	—	2,7	9,0
Maximum . . .	84,7	73,0	97,3
Mittel	25,9	29,8	44,3

Diese Zahlen zeigen, daß im allgemeinen der kohlensaure Kalk in den feineren Teilen überwiegt, daß dies aber keineswegs bei allen Böden zutrifft. Bei einigen Böden zeigte sich, daß in den gröberen Bestandteilen auch die größte Menge des im Boden vorhandenen kohlensauren Kalkes enthalten war.

---

[1]) Siehe Seite 37.

6. Von 100 Teilen Kalk waren vorhanden in Form von kohlensaurem Kalk

	im Gesamtboden	in der Feinerde	im Staub
Minimum . . .	3,6	4,0	3,4
Maximum . . .	45,1	60,2	66,6
Mittel	21,0	23,0	22,9

Hieraus geht hervor, daß im Mittel zwar der kohlensaure Kalk im Verhältnis zum Gesamtkalkgehalte in den feineren Bestandteilen mehr zurücktritt, daß aber bei den verschiedenen Böden in den feineren Teilen der prozentische Anteil des kohlensauren Kalkes vom Gesamtkalkgehalte größer ist als in den gröberen Teilen.

7. Von 100 Teilen im Boden vorhandener Magnesia waren enthalten:

	in den Korngrößen 0,2—6 mm	im Feinsand	im Staub
Minimum . . .	—	—	29,0
Maximum . . .	44,6	62,3	100,0
Mittel	17,3	17,3	63,4

Der Gehalt der verschiedenen Korngrößen an Magnesia ist also ebenfalls ein sehr wechselnder, wenngleich die feineren Bodenbestandteile im Durchschnitt relativ mehr Magnesia als Kalk enthalten.

8. Die Löslichkeit des Kalkes in verdünnter Salzsäure war bei den verschiedenen Böden sehr verschieden. Von 100 Teilen Gesamtkalk (in konzentrierter Salzsäure löslich) waren in 2%iger Salzsäure löslich

	leichte Böden	schwere Böden
Minimum	38,5	66,6
Maximum	92,0	90,2
Mittel	68,9	78,4

Es war also bei den leichten Böden die Löslichkeit des Kalkes in verdünnter Säure wesentlich geringer als bei den schweren Böden. Eine Beziehung dagegen zwischen der Löslichkeit des Kalkes in verdünnter Säure und dem Gehalt des Bodens an abschlämmbaren Teilen ließ sich nicht ermitteln. Ebensowenig gab der Gehalt des Bodens an Kohlensäure bzw. Schwefelsäure und Phosphorsäure über die Löslichkeitsverhältnisse des Kalkes Aufschluß.

9. Die Magnesia zeigte im Durchschnitt eine geringere Löslichkeit in verdünnter Säure wie der Kalk.

Von 100 Teilen Magnesia waren löslich in 2%iger Salzsäure:

	leichte Böden	schwere Böden
Minimum	27,4	36,4
Maximum	80,4	69,0
Mittel	44,2	50,5

———

Das fast völlige Zurücktreten des kohlensauren Kalkes sowie die Abwesenheit von humussaurem Kalk ließen darauf schließen, daß ein erheblicher Teil des Kalkes als Silikat im Boden vorhanden sein müsse. Dies geht auch aus folgenden Zahlen hervor:

Kalkgehalt des Bodens (in 2%iger Salzsäure löslich) %	Kalk an Kohlensäure, Phosphorsäure und Schwefelsäure gebunden[1] %	**Kalk in anderen Verbindungen** %
0,339	0,149	**0,190**
0,601	0,152	**0,448**
0,917	0,344	**0,573**
0,826	0,167	**0,659**
1,043	0,383	**0,660**
1,193	0,369	**0,824**

Diese Beispiele zeigen, daß ein großer Teil des Kalkes in Form leicht zersetzbarer Silikate bei den vorliegenden Bodenproben enthalten ist. Daß dieses nun auch der Fall, geht aus weiteren Untersuchungen des Verfassers hervor, bei welchen mit einer Lösung von Ammoniumnitrat und Ammoniumchlorid erheblich mehr Kalk in Lösung geführt werden konnte, als den an Kohlensäure gebundenen Mengen entsprach.

Es waren z. B. an Kohlensäure gebunden 0,254%, in Ammoniumnitrat löslich 0,684%. An Schwefel- und Phosphorsäure enthielt dieser Boden nur 0,082 bzw. 0,089%. Es mußten somit erhebliche Mengen von Kalk aus leicht zersetzbaren Silikaten (Zeolithen) in Lösung gegangen sein.

Über die Löslichkeit des Kalkes in Chlorammonium mögen noch folgende Zahlen angeführt werden:

Kalk in konzentrierter Salzsäure löslich %	Kalk in 10%iger Chlorammoniumlösung löslich %
0,167	0,065
0,333	0,118
0,400	0,264
0,470	0,386
0,460	0,420
1,040	0,688

Eine wesentlich geringere Löslichkeit zeigte nun durchweg die Magnesia. War schon die durch 2%ige Salzsäure in Lösung gegangene Magnesiamenge geringer als die entsprechende Kalkmenge, so tritt dies

[1] In der Annahme, daß sämtliche Mengen der vorhandenen Säuren an Kalk gebunden sind.

besonders scharf hervor bei Verwendung einer neutralen Salzlösung als Lösungsmittel.

Magnesia in 10%iger Salzsäure löslich %	Magnesia in 10%iger Chlorammoniumlösung löslich %
1,666	0,112
1,257	0,116
0,920	0,180
0,510	0,075
0,339	0,072

Hieraus geht hervor, daß die Magnesia im allgemeinen in schwerer löslichen Verbindungen im Boden vorhanden ist als der Kalk.

Da, wie schon früher ausgeführt, die Löslichkeit des Kalkes in 2%iger Salzsäure bei den an abschlämmbaren Teilen reichen Böden im Durchschnitt höher war als bei den leichten Böden, so ergibt sich hieraus weiter die interessante Tatsache, daß wir mit der Zunahme der abschlämmbaren Teile keineswegs eine unwirksamere Form des Kalkes im Boden annehmen dürfen. Wir werden später sehen, daß solche leicht zersetzbare Silikate in hohem Grade für die Ernährung der Pflanzen geeignet sind.

2. Die Ermittelung der Kalkbedürftigkeit der verschiedenen Böden.

Wir hatten in dem vorhergehenden Abschnitte gesehen, welch hohe Bedeutung dem Kalke außer der direkten Wirkung auf das Pflanzenwachstum in physikalischer, chemischer und biologischer Beziehung zukommt, und wie der ganze Fruchtbarkeitszustand des Bodens in engster Beziehung zum Kalkgehalte desselben steht. Soweit der Kalkgehalt des Bodens das Pflanzenwachstum direkt beeinflußt, ist man nun seit langem bestrebt gewesen, durch die Analyse zu ermitteln, bei welchem Kalkgehalte der Boden für eine Kalkdüngung noch dankbar und welche obere Grenze als normaler Gehalt anzusehen ist. Waren einerseits die für die Untersuchung verwandten Lösungsmittel in ihrer Konzentration, ihrem Verhältnis zur angewandten Bodenmenge, Einwirkungsdauer und Temperatur, sowie auch die zur Untersuchung gelangten Korngrößen des Bodens schon sehr verschiedene, so mußten auf der anderen Seite auch die Resultate, zu denen die verschiedenen Forscher auf Grund ihrer Untersuchungen gekommen sind, recht abweichende sein.

So gibt Heinrich[1]) auf Grund seiner Untersuchungen, die mit 10%iger Salzsäure erfolgten, folgende Grenzwerte für den Kalkgehalt an:

---

[1]) Die chemische Bodenanalyse und ihre Bedeutung für die Feststellung der Düngebedürftigkeit des Bodens. Biederm. Zentralblatt 1892. Mergel und Mergeln. 2. Aufl. 1908.

Ein Kalkgehalt von 0,05 %	ist noch ausreichend für Kartoffeln und Roggen,
„ „ „ 0,05—0,10 %	„ „ „ „ Hafer und Gerste,
„ „ „ 0,10 %	„ „ „ „ Erbsen und Wicken,
„ „ „ 0,12 %	„ „ „ „ Klee.

In guter Kultur ist ein Boden, wenn er 0,25—0,50 % Kalk enthält.

Auf Grund der mit konzentrierter Salzsäure ausgeführten Untersuchungen kommt Orth[1]) zu folgenden Ergebnissen: Beträgt der Gehalt der in kochender Salzsäure löslichen Kalkmenge nur 0,05 % und weniger, so ist derselbe für unsere Kulturverhältnisse als kalkbedürftig anzusehen. Bei 0,1 % sind die Kleepflanzen, Erbsen, Bohnen und andere kalkliebende Pflanzen noch unsicher. Bei 0,25 % wird dem Kalkbedürfnis unserer Kulturpflanzen um so mehr genügt, je leichter aufschließbar diese Verbindungen sind. Orth ist ferner der Ansicht, daß die Natur des Bodens für den als ausreichend anzusehenden Kalkgehalt eine wesentliche Rolle spielt. Er nimmt daher auch für die leichteren Böden einen niedrigeren Kalkgehalt als ausreichend an als für schwere Böden.

Auch Maercker[2]) fordert für die schweren Böden einen höheren Kalkgehalt als für die leichten Böden, wie aus folgenden Zahlen hervorgeht:

	Sandboden	Lehmboden
arm	0,05	unter 0,1 %
mäßig	0,10	0,1—0,25 %
normal	0,1—0,2	0,25—0,50 %
gut	über 0,2	0,50—1,00 %
reich	—	über 1,00 %

Sehr eingehende Untersuchungen sind dann später vom Verfasser[3]) nach dieser Richtung hin ausgeführt worden, aus denen hervorging, daß weder die konzentrierte noch die verdünnte Salzsäure uns einen genügenden Aufschluß über die Kalkbedürftigkeit der verschiedenen Böden gibt. Es wurde z. B. geerntet:

Kalkgehalt des Bodens (in konz. Salzsäure löslich) %	Ernte g	Kalkaufnahme g
0,167	37,45	0,257
0,175	58,20	0,328
0,175	88,75	0,453
0,333	82,22	0,388

[1]) Kalk- und Mergeldüngung. Berlin 1896.

[2]) Jahrbuch der Agrikulturchemischen Versuchsstation Halle II 1896.

[3]) Landw. Jahrbücher 1900.

Während dem Boden mit 0,333 % Kalk nur 0,388 g Kalk durch die Pflanzen entzogen wurden, beträgt die aus dem Boden mit 0,175 % Kalk aufgenommene Kalkmenge 0,453 g. Daß für kalkreichere Böden, besonders wenn sie den Kalk in leicht löslicher Form enthalten, die konzentrierte Salzsäure natürlich brauchbare Ergebnisse liefern kann, zeigen folgende Versuche:

Kalkgehalt des Bodens (in konz. Salzsäure löslich)	Ernte	Kalkaufnahme
%	g	g
0,400	99,33	0,470
0,460	102,88	0,501
0,470	107,85	0;523
1,040	110,00	0,556

Diese Ergebnisse können aber nicht entscheidend sein für die Frage, ob uns die konzentrierte Salzsäure Aufschluß über die Kalkbedürftigkeit eines Bodens geben kann oder nicht. Nur solche Böden, deren Kalkgehalt ein relativ niedriger ist, müssen hierfür ausschlaggebend sein.

Je mehr man nun die gröberen Bestandteile von den feineren trennt und nur letztere der Untersuchung unterwirft, desto mehr wirksame Kalkverbindungen wird man im allgemeinen durch die Analyse ermitteln, da die Pflanzenwurzeln in den gröberen Bestandteilen relativ weit weniger Kalk in Lösung bringen können als konzentrierte Säuren. Es könnte daher scheinen, als ob die Untersuchung der Feinerde (< 0,2 mm) bzw. des Staubes (< 0,1 mm), brauchbarere Zahlen ergeben müßte als die Untersuchung des Gesamtbodens. Dies ist jedoch nicht der Fall. Es wurde z. B. geerntet:

Kalkgehalt				
des Gesamtbodens	der Feinerde	des Staubes	Ernte	Kalkaufnahme
%	%	%	g	g
0,167	0,221	0,275	37,45	0,257
0,175	0,194	0,325	58,20	0,328
0,175	0,167	0,183	88,75	0,453
0,333	0,436	0,817	82,22	0,388

Hieraus ergibt sich, daß auch das zeitweise geübte Verfahren, nur die feinen Bodenbestandteile der Untersuchung zu unterwerfen, zu unbrauchbaren Ergebnissen führt.

Auch weitere, vom Verfasser mit Salzsäure verschiedener Konzentration ausgeführte Untersuchungen ergaben, daß selbst die 2 %ige Salzsäure, mit welcher die feinen Bodenbestandteile (0,1 mm) untersucht wurden, keine zuverlässigen Ergebnisse lieferte. Es wurde z. B. geerntet:

Kalkgehalt des Bodens (in 2%iger Salzsäure löslich)	Ernte	Aufgenommene Kalkmenge
%	g	g
0,083	0,98	—
0,125	58,20	0,328
0,152	88,75	0,453
0,155	37,45	0,257
0,322	82,22	0,388

Von Mondesir[1]) und später auch von Stutzer[2]) ist sodann unter der Annahme, daß in erster Linie nur der kohlensaure Kalk für die Ernährung der Pflanzen in Betracht komme, die Ermittelung desselben in Vorschlag gebracht worden. Abgesehen davon, daß nach der Stutzerschen Methode der kohlensaure Kalk keineswegs bestimmt wird, ist nun auch vom Verfasser[3]) festgestellt worden, daß der Gehalt des Bodens an Kohlensäure bzw. kohlensaurem Kalk uns keinen Aufschluß über die Kalkbedürftigkeit eines Bodens geben kann. Während z. B. ein Boden mit 0,020 % Kohlensäure keinen Ertrag lieferte, wurden auf einem anderen Boden mit nur 0,024 % Kohlensäure 103,71 g geerntet. Findet sich im Boden ein verhältnismäßig hoher Gehalt an Kohlensäure, so kann man auch im allgemeinen einen hohen Gehalt an wirksamen Kalkverbindungen annehmen, ist dagegen der Gehalt an Kohlensäure gering, so ist man keineswegs berechtigt, ohne weiteres auf einen Mangel an wirksamen Kalkverbindungen zu schließen. Dies beruht, wie schon weiter oben ausgeführt, auf dem Gehalt vieler Böden an leicht zersetzbaren Silikaten. Nachdem schon früher von Kellner[4]) auf die Möglichkeit hingewiesen war, den absorptiv gebundenen Kalk durch konzentrierte Chlorammoniumlösung zu bestimmen, und nachdem vom Verfasser ausgeführte Untersuchungen ergeben hatten, daß durch eine sehr verdünnte Säure bei vielen Böden schon 80 % des Kalkes gelöst wurden, obgleich nur ein sehr kleiner Teil hiervon in Form von kohlensaurem Kalk vorhanden war, ist von demselben sodann eine Methode in Vorschlag gebracht worden, den Kalk mit einer 10%igen Chlorammoniumlösung durch dreistündige Behandlung des Bodens auf dem Wasserbade zu bestimmen. Diese Methode lieferte recht brauchbare Resultate. Es ergab sich auch eine gute Übereinstimmung des im Boden ermittelten Kalkgehaltes im Vergleich zu den von den Pflanzen aufgenommenen Kalkmengen, wie folgende Zahlen zeigen:

[1]) Comptes rendus 1889.
[2]) Mitteilungen der landw. Institute der Universität Breslau. Bd. I.
[3]) A. a. O.
[4]) Landw. Versuchsstationen Bd. 33.

Kalkgehalt des Bodens (in Chlorammonium löslich)	Ernte	Aufgenommene Kalkmenge
%	g	g
0,030	0,98	—
0,065	37,45	0,257
0,074	58.20	0,328
0,084	62,33	0,311
0,118	82 22	0,388
0,132	80,22	0,367
0,134	85,55	0,399
0,240	112,61	0,591
0,264	99,33	0,470
0,365	116,18	0,499

Bei den Böden mit einem Gehalt von 0,030—0,084 % in Chlorammonium löslichem Kalk konnte der Ertrag durch eine Kalkdüngung sehr bedeutend gesteigert werden. Wahrscheinlich würde dies auch bei den Böden der Gruppe II mit einem Kalkgehalte von 0,118—0,134 % der Fall gewesen sein, wenn eine Kalkdüngung verabreicht worden wäre. Wenn bei den Böden der III. Gruppe, welche sämtlich einen ausreichenden Kalkgehalt zeigten, der Ertrag auch nicht proportional dem Kalkgehalte war, so wurde hier im Durchschnitt doch ein höherer Ertrag erzielt als bei der II. Gruppe.

Die vom Verfasser ausgeführten Versuche ergaben nun weiter noch, daß, soweit es den direkten Einfluß des Kalkes auf die Pflanze betrifft, die vielfach vorherrschende Ansicht, daß für die leichteren Böden ein geringerer Kalkgehalt notwendig ist wie für die besseren Böden, sich nicht aufrechterhalten läßt. Es geht dies aus folgenden Zahlen hervor:

Boden	Kalk	Ernte	Aufgenommene Kalkmenge
	%	g	g
1. Leichter Sand	0,240	112,61	0,591
2. „ „	0,264	96,22	0,462
3. „ „	0,382	101,38	0,492
4. Sandiger Lehm	0,240	103,71	0,520
5. Leichter „	0,264	99,33	0,470
6. Schwerer „	0,386	107,85	0,523
7. „ „	0,420	102,88	0,501

Den höchsten Ertrag bei einem relativ niedrigen Kalkgehalte hatte der Boden Nr. 1, ein leichter Sand, geliefert. Diesem steht jedoch der Boden Nr. 3 mit 0,382 % Kalk mit 101,38 g Ertrag und 0,492 g Kalk gegenüber. Bei demselben Kalkgehalte aber hat Boden Nr. 6, ein ziemlich schwerer Lehm, einen höheren Ertrag geliefert, nämlich 107,85 g

mit 0,523 g aufgenommener Kalkmenge. Wenn auch nach der Bestimmung des Gesamtkalkgehaltes eine Unterscheidung zwischen leichten und besseren Böden gerechtfertigt sein mag, so kann nach der Bestimmung mit Chlorammonium der Kalkgehalt für leichtere und bessere Böden im allgemeinen als gleichwertig angenommen werden.

Auf Grund der vorliegenden Versuche kam der Verfasser zu dem Ergebnis, daß der Kalkgehalt nicht unter 0,20 %, in Chlorammonium löslich, betragen sollte, und daß ein Gehalt von 0,25 % als ein normaler bezeichnet werden kann.

Weitere, vom Verfasser und auch von anderer Seite ausgeführte Versuche haben nun aber ergeben, daß häufig auch bei einem niedrigeren Kalkgehalte durch eine Kalkdüngung eine günstige Wirkung keineswegs immer zu erwarten ist, während anderseits Böden mit einem höheren Kalkgehalte noch auf eine Kalkdüngung reagieren können. Da bei Anwendung einer neutralen Salzlösung als Lösungsmittel der verschiedene Grad der Löslichkeit der im Boden vorkommenden Kalkverbindungen nicht die Ursache des verschiedenen Verhaltens dieser Böden sein konnte, so mußte noch ein weiterer Faktor für die Beurteilung der Kalkbedürftigkeit von Bedeutung sein. Bei der Prüfung einer Anzahl von Böden auf ihre Reaktion zeigte sich nun, daß ein erheblicher Teil einen ausgesprochen sauren Charakter aufwies. Es scheint, als wenn saure Mineralböden weit verbreiteter sind, als bisher vielfach angenommen wurde. Nachdem schon Immendorff[1]) und Tacke[2]) hierauf hingewiesen haben, sind neuerdings von Weibull[3]) hierüber sehr eingehende Untersuchungen ausgeführt worden, deren Ergebnisse wir kurz wiedergeben wollen. Die Weibullschen Untersuchungen führten zu folgenden Resultaten:

1. Die gewöhnlichen Böden mit 3—6 % Glühverlust und weniger als 0,20 % assimilierbarem[4]) Kalk reagieren in der Regel sauer und haben nur schwaches Nitrifikationsvermögen. Kalkarme Böden mit mehr neutraler Reaktion haben einen geringeren Humusgehalt.

2. Böden mit Spuren oder mehr kohlensaurem Kalk und Böden ohne kohlensauren Kalk, aber mit mehr als 0,25 % Kalk reagieren in der Regel alkalisch und haben starkes Nitrifikationsvermögen. Abweichend hiervon sind Böden mit höherem Humusgehalte.

3. Neutral reagieren unter Umständen Böden mit 0,20—0,25 % assimilierbarem Kalk.

---

[1]) Zeitschrift für angewandte Chemie 1900.

[2]) Mitteil. der D. L.-G. 1902.

[3]) Om Kalkbehofvet i Akerjorden, Meddelande fran Alnarps Laboratorium. XI. 1909.

[4]) In Chlorammonium löslich.

Die von **Weibull** ermittelten Ergebnisse über den Kalkgehalt und den Glühverlust in Beziehung zur Reaktion trafen auch für die vom Verfasser nach dieser Richtung hin untersuchten Böden zu. Von den zu den weiteren Versuchen benutzten sechs Bodenarten zeigte nur ein Sandboden mit mehr als 1/20 Kalk im Verhältnis zum Glühverlust eine neutrale Reaktion, während die übrigen mit weniger als 1/20 Kalk sauer reagierten.

Das Ergebnis dieser Versuche[1]) war nun folgendes:

1. **Böden mit 0,25% in Chlorammonium löslichem Kalk und darüber.**

		Lehmboden I (sauer) 0,372% CaO	Lehmboden II (sauer) 0,253% CaO	Lehmboden III (sauer) 0,276% CaO	Mittel
		g	g	g	g
Buchweizen:					
Ohne Kalk		206,3	200,1	183,8	196,7
Mit kohlensaurem Kalk		197,7	203,1	165,1	188,6
Hafer:					
Ohne Kalk .	Körner	164,4	150,8	103,1	139,5
	Stroh .	207,9	212,0	185,4	198,4
Mit kohlensaurem Kalk	Körner	168,9	145,1	106,6	140,2
	Stroh .	204,4	221,8	178,4	201,5

2. **Böden mit weniger als 0,20% in Chlorammonium löslichem Kalk.**

		Sandiger Lehmboden (sauer) 0,169% CaO	Sandboden I (fast neutral) 0,160% CaO	Sandboden II (neutral) 0,085% CaO
		g	g	g
Buchweizen und Senf:				
Ohne Kalk		104,1	130,5	95,7
Mit kohlensaurem Kalk . .		133,1	116,5	79,2
Rotklee:				
Ohne Kalk		129,1	—	—
Mit kohlensaurem Kalk . .		156,5	—	—
Hafer:				
Ohne Kalk . . .	Körner .	143,3	—	81,5
	Stroh . .	215,0	—	88,5
Mit kohlensaurem Kalk	Körner .	143,7	—	65,6
	Stroh . .	206,1	—	85,2

[1]) Landw. Jahrbücher 1910 und Arbeiten der Versuchsstation Halle III.

Bei den Böden der ersten Gruppe ist somit weder beim Buchweizen noch beim Hafer eine Ertragssteigerung durch die Kalkdüngung eingetreten. Die Azidität der Böden hatte bei keiner Versuchspflanze eine nachteilige Wirkung auf den Ertrag ausgeübt. Dagegen wurde nun bei dem sandigen Lehmboden, welcher ebenfalls sauer reagierte, aber einen niedrigeren Kalkgehalt (0,169 %) aufwies, der Ertrag bei Senf und Rotklee durch eine Kalkdüngung nicht unbeträchtlich erhöht, während beim Hafer eine Kalkwirkung nicht zu verzeichnen war. Der fast denselben Kalkgehalt aufweisende Sandboden, welcher fast neutral reagierte, zeigte ebenfalls keine Kalkwirkung. Auch bei dem neutralen Sandboden mit nur 0,085 % Kalk war weder zu Buchweizen noch zu Hafer eine Kalkwirkung eingetreten. Eine Kalkbedürftigkeit zeigte somit nur der saure, sandige Lehmboden mit 0,169 % Kalk, wohingegen der fast neutrale Sandboden mit 0,160 % Kalk und der neutrale Sandboden mit 0,085 % Kalk keine Kalkwirkung erkennen ließen. Ebenso war bei den sauren Lehmböden mit einem Kalkgehalte von 0,25 % und darüber eine direkte Kalkwirkung nicht vorhanden.

Für die Beurteilung der Kalkbedürftigkeit eines Bodens ist nun aber, wie wir in früheren Abschnitten gesehen haben, außer dem Kalkgehalte auch die Reaktion desselben von Bedeutung. Saure Böden, mit Ausnahme der Hochmoorböden, bedürfen daher, auch wenn sie einen genügenden Kalkgehalt aufweisen, zur Herstellung einer neutralen oder schwach alkalischen Reaktion unbedingt einer Kalkzufuhr. Die Kalkgabe braucht in diesem Falle aber nicht erheblich höher bemessen zu werden, als wie zur Herstellung einer neutralen oder schwach alkalischen Reaktion erforderlich ist.

Für alle diejenigen Böden nun, welche einen hohen Gehalt an abschlämmbaren Teilen aufweisen (schwere Lehm- und Tonböden), werden wir die Kalkdüngung aber nicht allein abhängig zu machen haben von dem Gehalte desselben an leicht löslichem Kalk und von der Reaktion des Bodens, sondern auch von dem Kohlensäuregehalte desselben. Besonders die Bestimmung des letzteren gibt uns einen Maßstab für die Möglichkeit einer physikalischen Verbesserung durch Herstellung einer guten Krümelstruktur. Wir haben in dem Abschnitte über die Einwirkung des Kalkes auf die physikalische Bodenbeschaffenheit gesehen, daß sich diese Wirkung aus der Verringerung der Kohäreszenz der einzelnen Bodenteilchen erklärt. In je feinerer Verteilung der kohlensaure Kalk im Boden vorhanden und je höher der Gehalt hieran ist, desto größer ist der Einfluß auf die Krümelstruktur des Bodens. Eine gleiche Wirkung vermag der leicht lösliche, in Form zeolithischer Verbindungen im Boden vorhandene Kalk höchst wahrscheinlich nicht auszuüben, da es sich hier um eine chemische Bindung des Kalkes handelt und eine

Einlagerung zwischen die einzelnen Bodenpartikelchen nicht erfolgen kann. Die Wirkung des Kalkes auf solchen Böden ist daher auch in erster Linie eine indirekte, eine Wirkung auf den Boden, wodurch in letzter Linie auch das Wachstum der Pflanzen gefördert wird. Dies geht auch aus Versuchen von Tacke[1]) hervor. Bei schweren Wesermarschböden und Tonböden der Ilmenau-Niederung, welche einen recht guten Kalkgehalt aufwiesen, konnte in fast allen Fällen eine nicht unbedeutende Ertragssteigerung durch Ätzkalk erzielt werden. Diese Böden zeigten zum Teil zwar auch eine nicht unerhebliche Azidität, jedoch ist nach den Ausführungen von Tacke, da der Kalk in Form leicht zersetzbarer Verbindungen[2]) vorhanden war, die Wirkung des Kalkes weniger als eine direkte anzusehen. Der Kalk wirkte erheblich verbessernd auf die physikalische Beschaffenheit dieser Böden, was besonders in der Krümelstruktur zum Ausdruck kam. Ein typisches Beispiel für die günstige Wirkung des in Form von kohlensaurem Kalk vorhandenen Kalkes auf die mechanische Beschaffenheit des Bodens bietet der schwere Aueboden des Stadtgutes Gimritz bei Halle. Dieser schwere Tonboden zeigt einen Gehalt von 1,57 % Kalk, wovon 1,23 % in Form von kohlensaurem Kalk vorhanden sind. Diesem Umstande ist es auch zu verdanken, daß der Boden bei entsprechendem Feuchtigkeitsgehalte fast die ganze Vegetationsperiode hindurch eine vorzügliche Krümelstruktur behält. Nach den Untersuchungen von Hollemann[3]) lassen sich jene Böden durch Kalkzufuhr verbessern, welche einen in kohlensäurehaltigem Wasser löslichen Kalkgehalt von weniger als 0,15 % zeigen, während bei einem über 0,50 % liegendem Kalkgehalte nach Hollemann wahrscheinlich nur organischer Dünger nützen wird. Diese Ergebnisse werden noch einer weiteren Nachprüfung bedürfen.

Wenn wir unsere Ausführungen nochmals kurz zusammenfassen, so kommen wir zu folgenden Ergebnissen:

1. **Die Kalkdüngung der Mineralböden ist abhängig zu machen: a) von dem Kalkgehalte des Bodens, b) von der Reaktion desselben und c) von dem Kohlensäuregehalte, wenn es sich um eine mechanische Verbesserung handelt.**

2. **Neutrale Böden, die in ihrer mechanischen Beschaffenheit nicht verbessert werden können, brauchen bei einem relativ geringen Kalkgehalte noch keine Kalkbedürftigkeit zu zeigen.**

---

[1]) Mitteil. der D. L.-G. 1902 Stück 18 und 19 und: Das landw. Versuchswesen Preußens für das Jahr 1900. Landw. Jahrb. 1902, Erg.-Bd.

[2]) Dies trifft wenigstens für die Wesermarschböden zu. Für die Böden der Ilmenau-Niederung sind die Zahlen im Original noch nicht veröffentlicht.

[3]) Die Bekalkung steifer Kleiböden, Landw. Versuchsstationen 1892.

3. **Saure Böden bedürfen für alle Fälle einer Kalkzufuhr. Diese kann geringer bemessen werden, wenn der Kalkgehalt ein normaler ist. Es braucht in diesem Falle nur etwa die der Azidität entsprechende Kalkmenge zugeführt zu werden. Ist der Kalkgehalt dagegen ein niedriger, so ist die Kalkgabe höher zu bemessen.**

4. **Schwere Böden werden auch bei neutraler Reaktion und normalem Kalkgehalte für eine Kalkdüngung sich lohnend erweisen, wenn der Boden keinen oder nur einen geringen Gehalt an kohlensaurem Kalk besitzt.**

D. Kann auch ein Mangel an Magnesia im Boden eintreten?

Obgleich die Magnesia, wie wir im ersten Abschnitte gesehen haben, zu den unentbehrlichen Nährstoffen gehört, hat man eine Bestimmung derselben im Ackerboden bis in die neuere Zeit nur in geringem Umfange vorgenommen. Dies beruhte auf der Annahme, daß für die Ernährung der Pflanzen die Böden im allgemeinen ausreichende Mengen an Magnesia enthalten und ja auch in der Düngung (Stalldünger, Kalisalze) gewisse Mengen wieder zugeführt werden. Auch aus den vom Verfasser[1]) ausgeführten Versuchen ging hervor, daß bei einem relativ geringen Magnesiagehalte des Bodens (0,070—0,088 %) durch alleinige Kalkdüngung hohe Erträge erzielt werden konnten. In höherem Maße wurde nun die Aufmerksamkeit auf den Magnesiagehalt des Bodens gelenkt, als Loew auf die Abhängigkeit des Maximalertrages von einem bestimmten Verhältnisse von Kalk zu Magnesia im Boden hinwies, welches jedoch, wie wir noch ausführlicher darlegen werden, keineswegs zutreffend ist. Wir haben daher den Magnesiagehalt des Bodens in erster Linie von dem Gesichtspunkte aus zu betrachten, ob er für die Ernährung der Pflanzen ausreichend ist. Wie aus Tabelle I hervorgeht, ist das Magnesiabedürfnis der Pflanzen im allgemeinen ein erheblich geringeres als das Kalkbedürfnis. Die größten Mengen an Magnesia wurden von den Zuckerrüben dem Boden entnommen. Selbst bei einem höheren Magnesia- als Kalkgehalte des Bodens waren die aufgenommenen Kalkmengen größer als die Magnesiamengen. Da die Pflanzen aber unter Umständen recht ansehnliche Magnesiamengen aufnehmen, besonders wenn ihnen solche in der

---

[1]) Landw. Jahrbücher 1900.

Düngung geboten werden (siehe Abschnitt E) und der Magnesiagehalt den Kalkgehalt sogar erheblich übertreffen kann, so muß es in erster Linie auf den verschiedenen Löslichkeitsgrad zurückgeführt werden, wenn die Magnesiaaufnahme bei Böden mit überwiegendem Magnesiagehalte nur eine relativ geringe ist. Nach unseren Untersuchungen war die in Chlorammonium lösliche Magnesiamenge in allen Böden nur eine sehr geringe, trotz des zum Teil recht hohen Magnesiagehaltes, wie folgende Zahlen zeigen:

	Magnesiagehalt	
	in Salzsäure löslich %	in Chlorammonium löslich %
Lößlehmboden I .	0,686	0,062
„ II .	0,529	0,061
Lehmboden I . .	1,425	0,096
„ II . .	0,847	0,073
„ III. .	1,204	0,066
Sandboden . . .	0,096	0,018

Im Gegensatze zu der Löslichkeit des Kalkes zeigt die Magnesia also eine viel geringere Löslichkeit in Chlorammonium, was darauf schließen läßt, daß dieselbe vorzugsweise in Form schwer zersetzbarer Silikate im Boden vorkommt.

Welchen Minimalgehalt an Magnesia ein Boden nun aufweisen darf, ohne daß ein ausgesprochener Mangel an Magnesia vorhanden, ist noch nicht genügend klargestellt. Nach Joulie soll ein in guter Kultur befindlicher Boden 0,3 % Magnesia enthalten. Einen derartigen Gehalt weist nun ein großer Prozentsatz unserer Böden — besonders die leichten — nicht auf. In Anbetracht des relativ geringen Bedarfs der meisten Kulturpflanzen an Magnesia werden auch noch bei einem erheblich niedrigeren Magnesiagehalte Höchsterträge erzielt werden können, wie die weiter oben besprochenen, mit Winterroggen ausgeführten Versuche zeigen.

Daß nun aber auch ein direkter Mangel an Magnesia im Boden eintreten kann, geht aus Versuchen von Rigaux[1]) hervor. Der Magnesiagehalt belgischer Böden ist nach zahlreichen Untersuchungen zum Teil ein außerordentlich niedriger (0,01—0,04 %), so daß durch eine Magnesiadüngung recht ansehnliche Ertragssteigerungen erzielt wurden. Die von Rigaux ausgeführten Versuche ergaben folgende Resultate:

[1]) F. Rigaux, La Magnésie, son Rôle et son Emploi en Agriculture. Landen 1909.

Frucht	Ohne Magnesia		750 kg schwefelsaure Magnesia pro Hektar	
	Ertrag auf 1 ha		Ertrag auf 1 ha	
	Körner bzw. Wurzeln dz	Stroh bzw. Kraut dz	Körner bzw. Wurzeln dz	Stroh bzw. Kraut dz
Roggen . . .	21,38	52,56	29,28	70,36
Weizen . . .	24,50	40,50	30,80	54,20
Hafer	23,40	37,00	29,00	51,10
Gerste	26,30	44,90	32,40	48,60
Zuckerrüben . .	383,80	—	432,00	—
Futterrüben . .	528,00	—	647,00	—
Kartoffeln . .	232,00	—	300,00	—

Das sind bedeutende Mehrerträge, die zeigen, daß auch die Bestimmung des Magnesiagehaltes im Boden nicht unterbleiben sollte. Nicht zu dem Zwecke, um nach Loew das Verhältnis von Kalk zu Magnesia im Boden günstiger zu gestalten, sondern um einem eventuellen Nährstoffmangel an Magnesia abzuhelfen.

E. Der Kalk- und Magnesiagehalt des Bodens und der Düngung in Beziehung zur Pflanze.

1. Der Einfluss des Bodens auf den Kalk- und Magnesiagehalt der Pflanzen.

Daß ebenso wie bei den übrigen Nährstoffen auch beim Kalk und bei der Magnesia der Gehalt der verschiedenen Pflanzen an diesen Stoffen bis zu einem gewissen Grade vom Kalk- und Magnesiagehalte des Bodens abhängig ist, wird ohne weiteres einleuchten. Kalkarme Böden erzeugen kalkärmere, kalkreiche Böden Pflanzen mit höherem Kalkgehalte. Dies kommt bei denjenigen Pflanzen, die einen hohen Kalkgehalt aufweisen, schärfer zum Ausdruck als bei solchen, die an den Kalkgehalt des Bodens nur geringe Anforderungen stellen. Es mögen hierüber folgende Zahlen des Verfassers angeführt werden:

Art des Bodens:	Boden CaO %	Boden MgO %	Buchweizen CaO %	Buchweizen MgO %	Haferstroh CaO %	Haferstroh MgO %
Lößlehmboden I	11,62	0,69	1,52	0,79	0,91	0,23
„ II	1,03	0,53	1,91	0,81	1,12	0,33
Lehmboden I	0,50	1,43	1,03	0,97	0,31	0,16
„ II	0,31	0,85	1,13	0,96	0,30	0,15
Sandboden	0,18	0,10	0,74	0,51	0,50	0,17

Aus diesen Zahlen geht folgendes hervor:

1. Der Kalkgehalt der blattreicheren Pflanzen (Buchweizen) ist ein erheblich höherer, als der Kalkgehalt der blattärmeren (Hafer).

2. Der Kalk- und Magnesiagehalt ist im allgemeinen um so höher, je höher der Kalk- und Magnesiagehalt des Bodens ist.

3. Ein höherer Magnesia- als Kalkgehalt im Boden erhöht den Magnesiagehalt, verringert dagegen den Kalkgehalt der Pflanzen. Ein Überwiegen des Magnesiagehaltes im Boden zeigte dagegen keinen höheren Magnesia- als Kalkgehalt in der Pflanze.

Auch nach den zahlreichen Untersuchungen von Seißl[1]), die bei 72 verschiedenen Pflanzen, welche auf einem Boden mit einem doppelt so hohen Magnesia- als Kalkgehalt gewachsen waren, überwog mit Ausnahme der grünen Blätter von Rumex und der roten Blumenblätter von Paeonia, welche ein Verhältnis von 1 Magnesia : 0,89 Kalk enthielten, in allen Blättern der Kalkgehalt mehr oder weniger den Magnesiagehalt. Im Mittel war das Verhältnis von Kalk : Magnesia wie 3,52 : 1. Dies trat besonders während des Alterns der Blätter hervor. Seißl schließt daraus, daß der Bedarf der grünen Blätter an Kalk gegenüber Magnesia ein beträchtlich überwiegender ist, und daß die Pflanzen auch unter ungünstigen Verhältnissen ihren Kalkbedarf zu decken vermögen. Bei den grünen Pflanzen sei dem Kalk immer die wichtigere Rolle zuzuweisen.

Der Einfluß des Kalkgehaltes des Bodens auf den Gehalt der Pflanzen geht auch aus den Untersuchungen von Kadgien[2]) hervor, welche mit Getreide, Futterpflanzen und Hackfrüchten ausgeführt wurden. Die besten Indikatoren bildeten die Futterpflanzen und Hülsenfrüchte, sodann das Stroh des Getreides, während bei den Hackfrüchten sich nur geringe Unterschiede zeigten.

2. Der Einfluss der Düngung auf den Kalk- und Magnesiagehalt der Pflanzen.

In gleicher Weise wie der Kalk- und Magnesiagehalt des Bodens übt nun auch die Düngung einen gewissen Einfluß auf den Gehalt der Pflanzen an diesen Stoffen aus, wie folgende Zahlen zeigen:

---

[1]) Über die Relation Kalk : Magnesia in den Blättern verschiedener einheimischer Pflanzen während einer oder mehrerer Vegetationsperioden. Zeitschrift für das landw. Versuchswesen in Österreich 1903 und 1907.

[2]) Fühl. landw. Zeitung 1906.

Versuche der Versuchsstation Halle.

Düngung	1. Sand + Torf				2. Sandboden			
	Pferdebohnen				Hafer			
	Körner		Stroh		Körner		Stroh	
	CaO %	MgO %	CaO %	MgO %	CaO %	MgO %	CaO %	MgO %
Kohlensaurer Kalk, kleine Gabe[1]) bzw. ohne Kalk[2])	0,33	0,15	1,80	0,24	0,17	0,19	0,50	0,17
Kohlensaurer Kalk, große Gabe[1]) bzw. kleine Gabe[2])	0,30	0,17	2,00	0,27	0,15	0,23	0,64	0,20
Kohlensaure[1]) bzw. schwefelsaure Magnesia[2]) . . .	0,28	0,17	1,63	**0,69**	0,11	0,20	0,55	**0,33**

Düngung	3. Sandiger Lehmboden							
	Rotklee		Senf		Hafer			
					Körner		Stroh	
	CaO %	MgO %	CaO %	MgO %	CaO %	MgO %	CaO %	MgO %
Ohne Kalk und Magnesia	2,11	0,49	2,19	0,58	0,15	0,22	0,47	0,22
Kohlensaurer Kalk	2,34	0,40	2,47	0,53	0,16	0,22	0,51	0,19
Kohlensaure Magnesia . .	1,86	**0,77**	1,71	**0,76**	0,14	0,32	0,43	**0,29**

Düngung	4. Lößlehmboden					
	Buchweizen		Hafer			
			Körner		Stroh	
	CaO %	MgO %	CaO %	MgO %	CaO %	MgO %
Ohne Kalk und Magnesia	1,52	0,79	0,06	0,17	0,91	0,23
Schwefelsaure Magnesia (kleine Gabe) . .	1,22	**1,38**	0,06	0,17	0,88	0,43
Schwefelsaure Magnesia (große Gabe) . .	1,22	**2,90**	0,07	0,20	0,62	**0,92**
	5. Lehmboden					
Ohne Kalk und Magnesia	1,13	0,96	0,17	0,25	0,30	0,15
Kohlensaurer Kalk (große Gabe)	1,38	0,99	0,16	0,22	0,63	0,19
Kohlensaure Magnesia (Magnesit) . . .	0,59	**1,87**	0,12	0,30	0,26	**0,35**

[1]) Pferdebohne.
[2]) Hafer.

Versuche der Versuchsstation Dahme[1]).

Düngung.	CaO %	MgO %
Gerste (Sandboden).		
Ohne Kalk und Magnesia	0,63	0,31
1000 bzw. 2000 kg CaO pro Hektar als Wiesenkalk	0,62	0,30
1000 kg CaO gebrannter Dolomit	0,60	0,49
2000 „ „ „ „	0,47	0,41
1000 „ MgO „ Magnesit	0,32	**0,59**
2000 „ „ „ „	0,21	**0,71**
Lupine (Sandboden).		
Versuch I.		
Ohne Kalk und Magnesia	1,01	0,21
1000 kg CaO als gebrannter Kalk	1,52	0,30
2000 „ „ „ „ „	1,63	0,37
2000 „ „ „ „ „ mit 10% MgO als gebr. Magnesit	1,61	0,45
2000 „ „ „ „ „ „ 25% „ „ „ „	1,50	0,52
2000 „ „ „ „ „ „ 40% „ „ „ „	1,32	**0,57**
Versuch II.		
Ohne Kalk und Magnesia	1,43	0,30
1000 kg CaO als gebrannter Kalk	1,76	0,28
2000 „ „ „ „ „	2,02	0,33
2000 „ „ „ „ „ mit 40% MgO als gebr. Magnesit	1,67	**0,78**
4000 „ $MgCO_3$ als Magnesit	1,30	**1,12**

Aus diesen Zahlen geht folgendes hervor:

1. Der Gehalt der Körner an Kalk und Magnesia wird weder durch eine Kalk-, noch durch eine Magnesiadüngung wesentlich beeinflußt. Die aus der Düngung aufgenommenen Kalk- und Magnesiamengen werden fast ausschließlich im Stroh abgelagert.

2. Der Kalkgehalt blattreicher Pflanzen (Leguminosen, Senf, Buchweizen) wird durch eine Kalkdüngung in höherem Grade gesteigert als derjenige blattärmerer Pflanzen (Getreide).

3. Die Magnesiadüngung erhöht den Magnesiagehalt, verringert dagegen den Kalkgehalt der Pflanzen, wohingegen die Kalkdüngung zwar den Kalkgehalt erhöht, den Magnesiagehalt der Pflanzen jedoch nur wenig beeinflußt.

4. Durch die Magnesiadüngung wird der Magnesiagehalt in höherem Grade beeinflußt als durch die Kalkdüngung der Kalkgehalt der Pflanzen. Es kann der Magnesiagehalt sogar um ein vielfaches gesteigert werden und den Kalkgehalt bedeutend überwiegen, ohne daß eine nachteilige Wirkung derselben auf die Entwicklung der Pflanzen einzutreten braucht.

Wenn bei einem Überwiegen des Magnesiagehaltes im Boden der

[1] Ulbricht, Landw. Versuchsstationen, Bd. 63.

Kalkgehalt der Pflanzen trotzdem im Durchschnitt ein höherer ist als der Gehalt an Magnesia, so müssen wir dies in erster Linie auf die größere Löslichkeit des Kalkes im Boden und damit auch auf die leichtere Aufnehmbarkeit durch die Pflanzen gegenüber der Magnesia zurückführen. Es ist daher auch die Ansicht von Seißl, daß die Pflanzen auch unter ungünstigen Verhältnissen, d. h. bei einem höheren Magnesia- als Kalkgehalte, ihren Kalkbedarf in dem Sinne zu decken vermögen, daß der Kalkgehalt den Magnesiagehalt immer beträchtlich überwiegt, in dieser Allgemeinheit nicht zutreffend. Seißl führt als weiteres Beispiel außer den zahlreichen Untersuchungen von Pflanzen (Blättern), die auf einem Boden mit höherem Magnesia- als Kalkgehalte gewachsen waren und bei denen der Kalkgehalt im Durchschnitt ein erheblich höherer als der Magnesiagehalt war, den Kalk- und Magnesiagehalt der Meeresalgen im Vergleich zum Meerwasser an.

Es enthalten nach Seißl:

	MgO : CaO
Meerwasser	1 : 0,24
Fucus serratus	1 : 1,40
Laminaria	1 : 1,59

Für diese ständig vom Meerwasser umspülten Algen scheinen daher auch die Verhältnisse, unter denen die Kalk- und Magnesiaaufnahme erfolgt, andere zu sein als für unsere Kulturpflanzen, bei denen, wie wir gesehen haben, durch Düngung mit leicht aufnehmbaren Magnesiaverbindungen der Magnesiagehalt den Kalkgehalt ganz beträchtlich überwiegen kann.

Die Produktion kalk- und magnesiareicher Pflanzen auf Böden mit gutem Kalkgehalte bzw. durch eine Kalkdüngung ist auch in wirtschaftlicher Beziehung von Bedeutung. Einmal werden dem Boden durch den Stalldünger größere Mengen beider Stoffe wieder zugeführt und dadurch ein Teil der für die Pflanzen notwendigen Kalk- und Magnesiamengen zurückerstattet. Eine noch höhere Bedeutung hat aber die Produktion kalkreicher Pflanzen für den Futterbau und die Aufzucht von Jungvieh. Der Wert und die Bekömmlichkeit von Grünfutter und Dürrheu (Wiesen- und Kleeheu) basiert nicht allein auf dem Gehalt an organischen Nährstoffen, sondern auch auf dem Mineralstoffgehalt. Die sogenannte Knochenbrüchigkeit der Tiere, welche vielfach ihre Ursache in der Verfütterung mineralstoff- und besonders kalkarmer Futtermittel hat, konnte in den meisten Fällen durch rationelle Düngung beseitigt werden.

F. Ist der Maximalertrag von einem bestimmten Verhältnisse von Kalk und Magnesia im Boden abhängig?

Wir hatten in dem vorhergehenden Abschnitte gesehen, daß kalkreiche Böden Pflanzen mit höherem Kalkgehalte, und daß Böden mit höherem Magnesiagehalte magnesiareichere Pflanzen erzeugen, als solche, die einen geringen Magnesiagehalt besitzen. Wir hatten ferner gesehen, daß durch die Düngung mit Magnesia der Magnesiagehalt der Pflanzen sehr erheblich gesteigert werden und den Kalkgehalt bedeutend überragen kann, ohne daß dies, wie später dargelegt werden wird, von Nachteil für die Entwicklung der Pflanzen zu sein braucht. Das Verhältnis von Kalk zu Magnesia wechselt somit nicht nur im Boden, sondern kann auch ein wechselndes innerhalb der Pflanze sein. Wenn auch im allgemeinen der Kalkgehalt der Pflanzen ein erheblich höherer ist als der Magnesiagehalt, so können auch die umgekehrten Verhältnisse eintreten, sei es, daß der Boden an und für sich einen höheren Magnesiagehalt aufweist, oder daß durch die Düngung größere Mengen an Magnesia zugeführt werden.

Es ist nun von Loew[1]) darauf hingewiesen worden, daß nicht allein der Kalkgehalt für die Kalkbedürftigkeit eines Bodens ausschlaggebend sei, sondern auch das Verhältnis von Kalk zu Magnesia. Loew führt hierüber aus:

„Sehr häufig liegt der Kalkgehalt eines Bodens weit über dem Magnesiagehalt; es ist daher wahrscheinlich, daß dieses auch bei dem den Wurzeln zugänglichen Anteil des Bodens der Fall ist. Dann wird Zufuhr von reinem Kalk keine Erhöhung, sondern eine Minderung des Ertrages bringen. Je nach dem Kalkbedürfnis der zu bauenden Frucht ist hier Zufuhr von Graukalk[2]) oder Magnesit (ungebrannt) am Platze. Ergibt aber die Untersuchung, daß der Magnesiagehalt des Bodens höher ist als der Kalkgehalt, so wird sich die Zufuhr von reinem Kalk als vorteilhaft, die Zufuhr von Dolomit oder Magnesit als schädlich erweisen. Bis jetzt hat man die Frage der Kalkung lediglich nach der absoluten Menge des im Boden vorhandenen Kalkes abgeleitet; noch weit nötiger ist die Kalkung, wenn der Magnesiagehalt größer als der Kalkgehalt ist, und zwar auch dann, wenn letzterer an und für sich zu einer vollen Ernte ausreichen würde. Es könnte z. B. der Fall vor-

---

[1]) Über die Abhängigkeit des Maximalertrages von einem bestimmten quantitativen Verhältnisse von Kalk und Magnesia im Boden, Landw. Jahrbücher 31. Bd., 1902.

[2]) Dolomitischer Kalk mit erheblichem Magnesiagehalte.

liegen, daß ein Boden 0,8 % Kalk und 1,5 % Magnesia enthält. Dies wäre ein recht ungünstiges Verhältnis, unter welchem die Entwicklung der Wurzelhaare und der Blätter, also der wichtigsten Ernährungsorgane, leiden würde. Ein Maximalertrag wäre hier ausgeschlossen. Würde der Kalkgehalt noch geringer sein, so würde eine ganz beträchtliche Kalkzufuhr nötig werden, um günstige Verhältnisse herzustellen."

Es sind von Loew[1]) und seinen Mitarbeitern eine Reihe von Versuchen (Wasser- und Bodenversuche) veröffentlicht worden, aus denen hervorgeht, daß bei Getreide das Verhältnis von Kalk zu Magnesia wie 2—1 : 1, bei blattreichen Pflanzen wie 3 : 1 am günstigsten wirkte. So konnte von Nakamura auf einem Boden mit 1,76 % Kalk und 0,11 % Magnesia durch eine Düngung von 78,6 g schwefelsaurer Magnesia auf 9,65 kg Boden bei Gerste ein Mehrertrag von 69 % an Körnern und 25 % an Stroh erzielt werden. Auf einem Boden mit 0,64 % Kalk und 1,91 % Magnesia konnte von Daikuhara durch eine hohe Düngung mit kohlensaurem Kalk der Ertrag an Gerste verdoppelt werden. Also erzielte auf einem humosen Lehmboden mit einem fast gleichen Gehalte an Kalk und Magnesia durch Erhöhung des Kalkgehaltes auf 3,5 % bei Reis einen bedeutenden Minderertrag, während die Ernte an Buchweizen erheblich gesteigert werden konnte. Nach Versuchen von Maki und Tanaka konnte der Kalküberschuß stark gekalkter Böden durch schwefelsaure Magnesia wieder aufgehoben werden. Wenn man die Versuche etwas näher studiert, so liegen die absoluten Ertragserhöhungen zum Teil allerdings in recht bescheidenen Grenzen. Es sprechen durchaus auch nicht sämtliche Versuche für die von Loew gezogenen Schlußfolgerungen. So wurde bei den von Maki und Tanaka angestellten Versuchen durch starke Düngung mit Ätzkalk, durch welche der Kalkgehalt des Bodens um 1,2 % erhöht wurde, bei einem Versuche der Körnerertrag erniedrigt, der Strohertrag dagegen nicht verändert, während bei einem andern Versuche der Körnerertrag der gleiche blieb und der Strohertrag erniedrigt wurde. Durch Düngung mit schwefelsaurer Magnesia wurde bei dem ersten Versuche der Ertrag, welcher ohne Kalk und Magnesia erzielt wurde, wieder erreicht, während bei dem zweiten Versuche, bei welchem der Körnerertrag nicht erniedrigt worden war, durch eine Düngung mit schwefelsaurer Magnesia eine erhebliche Ertragssteigerung erzielt wurde.

---

[1]) Landw. Jahrbücher Bd. 31, 1902, Bd. 34, 1905, Bd. 35, 1906; Zeitschrift für das landw. Versuchswesen in Österreich, Jahrgang 8, 1905; Fühl. landw. Zeitung, Jahrg. 58, 1909, Heft 10.

Zu den vom Verfasser hierüber ausgeführten Versuchen [1]) wurden nun benutzt:

1. ein Lößlehmboden mit 11,62 % Kalk und 0,69 % Magnesia,
2. „ „ „ 1,03 % „ „ 0,53 % „
3. „ Sandboden „ 0,19 % „ „ 0,10 % „
4.—6. drei Lehmböden mit 0,31—0,50 % Kalk u. 0,85—1,43 % Magnesia.

In bezug auf das Verhältnis von Kalk zu Magnesia [2]) überwiegt bei dem Lößlehmboden 1 der Kalkgehalt den Magnesiagehalt um das 17 fache, bei den Böden 2 und 3 um das Doppelte, während bei den Lehmböden der Magnesiagehalt den Kalkgehalt um das 2—3 fache übertrifft.

Diese Böden boten also nach jeder Richtung hin ein interessantes Versuchsmaterial. Auf der einen Seite handelt es sich um einen Boden mit einem bedeutenden Kalküberschusse, während auf der andern Seite Böden mit einem erheblich höheren Magnesia- als Kalkgehalte vorhanden sind. Bei zwei Böden muß das Verhältnis von Kalk zu Magnesia als relativ günstig bezeichnet werden.

Der Kalk wurde bei diesen Versuchen ausschließlich in Form eines natürlichen kohlensauren Kalkes — der Kreide — gegeben, während die Magnesia in Form des schwefelsauren Salzes und bei einigen Versuchsreihen auch in Form des feingepulverten Magnesits (natürliche kohlensaure Magnesia) gegeben wurde. Das Ergebnis dieser, mit Buchweizen und Hafer ausgeführten Versuche war folgendes:

Tabelle II.

Gesamtergebnis.

Verhältnis von CaO : MgO	Buchweizen					
	Mittel von Boden 1—3 g	Mitel von Boden 2 u. 3 g	Mittel von Boden 4—6 g	Mittel von Boden 1—6 g	Mittel von Boden 2—6 g	Mittel von Boden 2—5 g
urspr.	168,4	145,3	196,7	182,6	176,1	174,2
3 : 1	158,6	138,1	175,8	167,2	160,7	156,9
1 : 1	143,3	142,8	188,6	166,0	170,3	171,6
1 : 3	—	145,2	196,3	—	175,8	173,7
1 : 1 [3])	—	132,0	—	—	—	166,2

[1]) Landw. Jahrbücher 1910 und Arbeiten der Versuchsstation Halle III.
[2]) Es sind hier die in der 2 mm-Korngröße ermittelten Mengen zugrunde gelegt.
[3]) Aus 1 : 3 durch Kalkdüngung wieder wie 1 : 1 gestaltet.

(Fortsetzung der Tabelle II.)

Verhältnis von CaO : MgO	Hafer.											
	Mittel von Boden 1—3		Mittel von Boden 2 u. 3		Mittel von Boden 4—6		Mittel von Boden 1—6		Mittel von Boden 2—6		Mittel von Boden 2—5	
	Körner g	Stroh g	Körner g	Stroh g	Körner g	Stroh g	Körner g	Stroh g	Körner g	Stroh g	Körner g	Stroh g
urspr.	112,9	136,9	101,2	115,5	139,5	198,4	126,2	167,7	124,2	165,2	129,4	160,2
3:1	106,1	136,5	91,8	112,6	132,1	188,3	119,1	162,4	115,9	158,0	120,3	155,4
1:1	118,0	142,0	105,0	118,5	140,2	201,5	129,1	171,8	126,1	168,3	131,0	165,8
1:3	—	—	103,1	117,5	145,9	200,5	—	—	128,8	167,3	131,5	164,6
1:1[1])	—	—	71,9	96,5	—	—	—	—	—	-	120,0	155,4

Das für den Buchweizen nach Loew günstigste Verhältnis von Kalk zu Magnesia wie 3 : 1 hatte somit weder bei den Böden mit einem höheren Kalk- als Magnesiagehalte, noch bei den Böden mit einem höheren Magnesia- als Kalkgehalte eine Ertragserhöhung bewirkt. Es trat vielmehr bei Gruppe I eine Ertragsverminderung von 9,8 g, bei Gruppe II eine solche von 20,9 g, im Mittel von 15,4 g ein. Das Verhältnis von Kalk zu Magnesia wie 1 : 1 hatte mit Ausnahme bei Boden 1 (hohe Magnesiagabe) einen um 9,6 g höheren Ertrag geliefert als das Verhältnis von 3 : 1. Das Verhältnis von Kalk zu Magnesia wie 1 : 3 (Düngung mit schwefelsaurer Magnesia) hatte im Durchschnitt einen höheren Ertrag wie das Verhältnis von 1 : 1 und denselben Ertrag wie die nicht mit Kalk und Magnesia gedüngten Gefäße geliefert. Die Korrektur eines durch die Düngung gegebenen Magnesiaüberschusses mit kohlensaurem Kalk bewirkte eine Ertragserniedrigung.

Das nach Loew für den Hafer günstigste Verhältnis von Kalk zu Magnesia wie 1 : 1 hatte bei Gruppe I (Düngung mit schwefelsauer Magnesia) eine geringe Erhöhung des Korn- und Strohertrages, bei Gruppe II (Düngung mit kohlensaurem Kalk) eine geringe Erhöhung des Strohertrages gegenüber den nicht mit Kalk und Magnesia gedüngten Gefäßen bewirkt. Im Mittel betrug der Mehrertrag 2,9 g Körner (2 %) und 4,1 g Stroh (2,5 %). Durch das Verhältnis von Kalk zu Magnesia wie 1 : 3 (ausschließliche Düngung mit schwefelsaurer Magnesia) wurde der Körnerertrag noch um ein geringes erhöht, während der Strohertrag derselbe blieb. Die Korrektur eines durch die Düngung gegebenen Magnesiaüberschusses mit kohlensaurem Kalk erniedrigte sowohl den Korn- als auch den Strohertrag.

Gegenüber den nicht mit Kalk und Magnesia gedüngten Gefäßen wurde im Durchschnitt sämtlicher Versuche beim Buchweizen

[1]) Aus 1 : 3 durch Kalkdüngung wieder wie 1 : 1 gestaltet.

eine Ertragserhöhung weder durch eine Kalk- noch durch eine Magnesiadüngung erzielt, während beim Hafer eine geringe Erhöhung des Korn- und Strohertrages nur durch die Düngung mit schwefelsaurer Magnesia (Verh. 1:3) eintrat. Es wurde geerntet:

Verhältnis von Kalk zu Magnesia	Mittel der Böden 2–6		
	Buchweizen	Hafer	
		Körner	Stroh
	g	g	g
urspr.	**176,1**	**124,2**	**165,2**
3:1	**160,7**	**115,9**	**158,0**
1:1	**170,3**	**126,1**	**168,3**
1:3	**175,8**	**128,8**	**167,3**

Alle übrigen, durch die Düngung hergestellten Verhältnisse von Kalk zu Magnesia hatten somit eine Ertragserniedrigung bewirkt. Die Düngung mit schwefelsaurer Magnesia (Verh. 1:3) ergab beim Buchweizen denselben Ertrag, wie die ungedüngten Gefäße, während beim Hafer der Körnerertrag von 124,2 auf 128,8 g und der Strohertrag von 165,2 auf 167,3 g erhöht wurde.

Daß ein Überwiegen des Magnesiagehaltes im Boden durchaus keinen Nachteil für die Entwicklung der Pflanzen bedingt, geht auch aus Versuchen von Ulbricht[1]) hervor. Der zu diesen Versuchen benutzte Boden, ein fast reiner Sand, enthielt 0,077 % Kalk und 0,033 % Magnesia. Es wurde durch die Düngung eine derartige Menge von feingemahlenem Frankenberger Magnesit (76,40 % $MgCO_3$ und 18,38 % $CaCO_3$) gegeben, daß der Boden 0,128 bzw. 0,256 % kohlensaure Magnesia enthielt. In letzterem Falle betrug somit der Gehalt des Bodens an Magnesia einschließlich der ursprünglich im Boden vorhandenen Menge 0,155 %, gegenüber einem Kalkgehalte von 0,112 %. Die mit Gerste, Hafer, Roggen, gelber Lupine, Spörgel, Buchweizen, Ölrettich, Lein, Rotklee und Timotheegras ausgeführten Versuche zeigten folgendes Ergebnis. Es wurden geerntet:

	Gerste und Serradella	Hafer und Wicke	Roggen und Sandwicke	Gelbe Lupine
	g	g	g	g
Ohne Magnesia	15,95	19,04	16,65	36;48
0,128 % kohlens. Magnesia	20,17	19,15	24,06	42,22
0,256 % kohlens. Magnesia	18,29	17,27	23,71	38,28

---

[1]) Landw. Versuchsstationen Bd. 52.

	Spörgel	Buchweizen	Ölrettich	Lein	Rotklee und Timothee
	g	g	g	g	g
Ohne Magnesia	11,49	8,72	8,58	18,34	20,65
0,128 % kohlens. Magnesia	9,06	9,79	10,44	17,51	19,38
0,256 % kohlens. Magnesia	9,41	10,32	11,21	17,04	14,75

Die Düngung mit Magnesia hat somit fast zu allen Früchten eine geringe Ertragserhöhung bewirkt. Im Durchschnitt sämtlicher Versuche wurden geerntet:

	g
Ohne Magnesia	17,32
0,128 % kohlensaure Magnesia	19,09
0,256 % kohlensaure Magnesia	17,81

Da die Zerealien im Gemisch mit Leguminosen angebaut sind, so ist ein Vergleich zwischen diesen beiden Gruppen von Versuchspflanzen nicht scharf zu ziehen. Die mit Buchweizen, Ölrettich und Lupinen ausgeführten Versuche, bei denen nach Loew das günstigste Verhältnis von Kalk zu Magnesia 3:1 betragen soll, zeigen jedoch, daß selbst bei den blattreichen Pflanzen ein Überwiegen des Magnesiagehaltes keinen Nachteil bedingt hat.

Des weiteren ergeben auch die von Gössel[1]) ausgeführten Versuche, daß ein Boden, der mehr Magnesia als Kalk enthält, wohl Höchsterträge liefern kann. Wie bei allen anderen Nährstoffen, so komme es auch bei dem Kalk und der Magnesia darauf an, ob die in einem Boden vorhandenen, leicht assimilierbaren Mengen zur Erzielung von Höchsterträgen ausreichend seien.

Auch Dojarenko[2]) kommt zu dem Ergebnis, daß die Loewsche Schlußfolgerung sich nicht bestätigt hat. Selbst bei starkem Überwiegen des Kalkgehaltes gegenüber dem Magnesiagehalt trat bei Kalkdüngung ein erheblicher Mehrertrag ein. Dojarenko führt aus: „Es scheint etwas verfrüht zu sein, die Rolle des Kalkes bei der Kalkung der Böden auf das passive Paralysieren des schädlichen Einflusses des Magnesiaüberschusses zu beschränken und dann Normen für die Praxis der Kalkdüngung zu geben. Offenbar handelt es sich hier nicht um das Paralysieren des Magnesiaüberschusses, wie Loew annimmt, sondern um verwickeltere Vorgänge, die durch Gegenwart von Kalk in einer für die Entwicklung der Pflanzen günstigen Richtung geleitet werden."

---

[1]) Jahresber. für Agrikulturchemie 1904.

[2]) Einiges zu Loews Hypothese über die Rolle des Kalkes im Boden. Journal für exp. Landwirtschaft 1903. Ref. Jahresber. für Agrikulturchemie 1903 u. 1904.

Ferner geht auch aus den Untersuchungen von Frear[1]) hervor, daß Kalk und Magnesia auf Böden mit überwiegendem Magnesiagehalte gleiche Wirkung zeigten.

Bei dem Lößlehmboden 2, bei welchem wir bereits die durch mehrjährige Versuche dem Boden entnommenen Kalk- und Magnesiamengen besprochen (Tabelle I), ist nun auch weiter das Verhältnis von Kalk zu Magnesia von Interesse. Dasselbe gestaltete sich folgendermaßen (MgO = 1):

	1905	1906	1907	**Mittel**
Weizen	1.4	1,8	2,1	**1,8**
Roggen	1,6	2,8	2,2	**2,2**
Gerste	1,6	2,4	2,1	**2,0**
Hafer	1,7	3,2	2,3	**2,4**
Erbsen	5,2	6,1	—	**5,7**
Raps	7,6	8,9	6,1	**7,3**
Luzerne	11,1	6,2	—	**8,6**
Zuckerrüben . . .	1,7	1,6	1,3	**1,5**
Kartoffeln . . .	1,7	—	—	**1,7**

Das Verhältnis von Kalk zu Magnesia schwankt beim Getreide von 1,4—3,2 : 1 und beträgt im Mittel beim Weizen 1,8 : 1, bei der Gerste 2,0 : 1, beim Roggen 2,2 : 1 und beim Hafer 2,4 : 1. Bei den Zuckerrüben ist entsprechend der größeren Magnesiamenge das Verhältnis ein engeres (1,5 : 1) als beim Getreide, während es bei den Erbsen 5,7 : 1, beim Raps 7,3 : 1 und bei der Luzerne 8,6 : 1 beträgt.

Würde nun aus obigen Zahlen der Schluß gezogen werden können, daß jede Kulturpflanze nur bei einem bestimmten Verhältnis von Kalk zu Magnesia das Maximum der Produktion leisten könne, wo in den einzelnen Jahren schon sehr erhebliche Unterschiede eintreten und das Verhältnis der aufgenommenen Kalkmenge zu der Magnesiamenge um fast 100 % schwankt? Wohl schwerlich. Wie sollte auch der praktische Landwirt bei einem geregelten Fruchtwechsel den Ansprüchen der verschiedenen Kulturpflanzen an das Verhältnis von Kalk zu Magnesia im Boden gerecht werden, wenn Getreide mit Hackfrüchten, Leguminosen und Luzerne abwechselt. Welche Mengen an schwefelsaurer Magnesia müßten z. B. verwandt werden für die sehr fruchtbaren Böden der Magdeburger Börde, die vielfach ein Verhältnis von Kalk zu Magnesia wie 10—20 : 1 aufweisen, um hier nach Loew bei Getreide[2]) Höchst-

[1]) Über das Kalken der Böden von Pennsylvanien. Jahresbericht für Agrikulturchemie 1900.

[2]) Bei den Gefäßversuchen sind für Lößlehmboden 1, pro Hektar berechnet, 596 dz kristallisierte schwefelsaure Magnesia verwandt worden.

erträge zu erhalten, während die nachfolgenden Früchte wie Leguminosen und Futterpflanzen, denen nach Loew dieses Verhältnis nicht zusagen soll, in ihrer Entwicklung wieder benachteiligt würden.

G. Die verschiedenen kalk- und magnesiahaltigen Düngemittel und ihre Wirkung auf das Pflanzenwachstum.

1. Vorkommen, Gewinnung und Zusammensetzung des kohlensauren und gebrannten Kalkes.

a) Der kohlensaure Kalk ($CaCO_3$) ist am weitesten in der Natur verbreitet. Wir finden ihn in kristallinischer Form als Kalkspat und Marmor, in amorpher Form als dichten Kalkstein, hauptsächlich im Silur, Devon und in der Triasformation, wo er, besonders in der letzteren, ganze Gebirgsstöcke bildend, auch in Deutschland eine erhebliche Ausdehnung besitzt. Ferner in mehr erdiger Form als Mergel in der Kreide- und Juraformation und im Diluvium und als Kalktuff, Süßwasserkalk und Wiesenkalk in den tertiären, diluvialen und alluvialen Ablagerungen. Der kohlensaure Kalk ist in reinem Wasser so gut wie unlöslich, dagegen in kohlensäurehaltigem Wasser als doppeltkohlensaurer Kalk ($CaHCO_3$) in recht beträchtlichem Grade löslich. Es ist dies diejenige Form, in welcher er hauptsächlich in den Flußwässern, sowie im Bodenwasser enthalten ist. Mit Kohlensäure gesättigtes Wasser nimmt auf 100 Teilen 0,88 Teile Kalk auf. Je geringer der Gehalt des Wassers an Kohlensäure, um so geringer ist natürlich auch der Löslichkeitsgrad des Kalkes und umgekehrt. Die Löslichkeit des Kalkes ist daher im Boden mit reichlichem Gehalte an Kohlensäure größer als in den an Kohlensäure ärmeren Böden. Durch innige Berührung mit der Luft verliert nun der gelöste doppeltkohlensaure Kalk einen Teil der Kohlensäure und wird als kohlensaurer Kalk wieder ausgeschieden. Lösung und Ausscheidung bilden eine ständige Wechselwirkung, denen der kohlensaure Kalk ausgesetzt ist.

Der Gehalt des reinen kohlensauren Kalkes an Kalk (CaO) beträgt 56 %. In den Kalksteinen, Mergeln und Wiesenkalken wird der Kalkgehalt in der Regel als kohlensaurer Kalk ($CaCO_3$) und nicht als Kalk (CaO) angegeben. Soll daher aus dem Gehalt an kohlensaurem Kalk der Kalkgehalt berechnet werden, so ist der kohlensaure Kalk mit 0,56 zu multiplizieren. Der Gehalt von 56 % CaO wird von den in der Natur vorkommenden verschiedenen kohlensauren Kalkablagerungen nun

im allgemeinen nicht erreicht. Je geringer die Beimengungen anderer Bestandteile, um so höher ist natürlich der Kalkgehalt und umgekehrt. So enthält der gemahlene Kalkstein und der reine Kalkmergel und Wiesenkalk 95—98 % kohlensauren Kalk. Viele Mergelablagerungen, die mit sandigen und tonigen Bestandteilen durchsetzt sind, können aber in ihrem Gehalte an Kalk so erheblich heruntergehen, daß eine lohnende Verwendung auf weitere Entfernungen nicht mehr rentabel ist. Je näher aber solche Mergelablagerungen am Verwendungsorte vorkommen, um so mehr ist die Möglichkeit gegeben, dieselben für die Kalkung der Böden zu verwerten.

Enthält der kohlensaure Kalk eine größere Beimengung von kohlensaurer Magnesia, so spricht man von dolomitischen Kalken und Mergeln. Der Gehalt an kohlensaurer Magnesia ist ein außerordentlich wechselnder und schwankt von sehr geringen Mengen bis 40 % und darüber. Bei den dichten dolomitischen Kalksteinen überwiegt der Kalkgehalt den Magnesiagehalt in der Regel um das 1,5fache, wohingegen bei dolomitischen Mergeln auch ein Überwiegen des Magnesiagehaltes festgestellt worden ist.

Von den auf den Wanderausstellungen der D. L. G. ausgestellten dolomitischen Mergeln zeigten z. B. nachstehende folgenden Gehalt an Kalk und Magnesia:

Gewinnungsort	Kohlensaurer Kalk %	Kohlensaure Magnesia %
Valdorf bei Vlotho	11,10	10,47
Lerbach bei Hausberge . . .	13,13	15,41
Schwarze Moor, Kreis Herford	15,24	12,58
Steinbeck	17,31	21,28
Hündersen	20,07	17,78
Schwarze Moor	32,75	21,62
Ehrsen.	34,11	18,69
Schwarze Moor	40,04	24,77

Je höher der Kalkgehalt, um so mehr übertrifft derselbe in der Regel auch den Magnesiagehalt, wohingegen bei den niedrigprozentigen der Kalkgehalt vielfach vom Magnesiagehalt übertroffen wird.

b) Der gebrannte Kalk (CaO) wird aus dem kohlensauren Kalk und zwar in der Regel aus dem dichten Kalkstein durch Glühen bei 700—800 ° gewonnen. Die Herstellung des gebrannten Kalkes findet im Großbetriebe in besonderen Kalköfen (Ringöfen) statt. Der gebrannte Kalk bildet in reiner Form eine weiße, in gewöhnlicher Form eine graue bis grau-weiße poröse Masse, welche begierig Wasser und Kohlensäure aufnimmt. Durch Befeuchten mit so viel Wasser, daß dasselbe vom gebrannten Kalk vollständig chemisch gebunden werden kann, zerfällt derselbe unter starker Erwärmung in ein lockeres, feines Pulver —

den trocken gelöschten Kalk oder das Kalkhydrat ($Ca(OH)_2$), welches durch Aufnahme von Kohlensäure allmählich wieder in kohlensauren Kalk übergeht. Der gebrannte Kalk reagiert stark alkalisch und ist in höherem Grade in Wasser löslich als der kohlensaure Kalk. 100 Teile Wasser lösen 0,14 Teile gebrannten Kalk.

Der Gehalt des gewöhnlichen gebrannten Kalkes an Kalk (CaO) ist um so höher, je reiner der zum Brennen verwandte Kalkstein ist, und je vollständiger die Kohlensäure durch das Brennen entfernt wurde. In der Regel beträgt der Gehalt gut gebrannter Kalke 95 % Kalk. Durch das begierige Aufsaugen von Kohlensäure und besonders von Wasser findet bei längerer Lagerung durch Aufnahme dieser Stoffe und der dadurch herbeigeführten Gewichtszunahme natürlich eine Verringerung des Kalkgehaltes statt. Wird derselbe gegen Feuchtigkeit durch Zudecken gut geschützt, so ist, wie wir später sehen werden, die Aufnahme an Wasser und Kohlensäure nur unbedeutend.

Der Bezug des gebrannten Kalkes erfolgt in der Regel als Stückkalk. In neuerer Zeit hat nun auch die Verwendung von gemahlenem Ätzkalk in erheblichem Umfange stattgefunden.

Wir hatten schon bei den dolomitischen Mergeln erwähnt, daß im Gegensatze zu diesen, bei den dolomitischen Kalksteinen das Verhältnis von Kalk zu Magnesia ein ziemlich konstantes ist. Es beträgt nach den Untersuchungen der zahlreichen, auf den Wanderausstellungen der D. L. G. ausgestellten Kalkproben bei den im Königreich Sachsen und dem Rheinland gewonnenen Kalken der Magnesiagehalt im Durchschnitt 36—40 % gegenüber einem Kalkgehalte von 55—60 %, wohingegen in Schlesien, in der Provinz Sachsen und Thüringen auch zahlreiche dolomitische Kalke mit geringerem Magnesiagehalte vorkommen.

2. Die Wirkung des kohlensauren und gebrannten Kalkes und der kohlensauren und gebrannten Magnesia auf das Pflanzenwachstum.

a) Die Wirkung des kohlensauren und gebrannten Kalkes.

α) Die Wirkung zu Getreide, Leguminosen und Hackfrüchten.

Vegetationsversuche.

Hierüber sind von Heinrich[1]) Versuche mit Erbsen und Luzerne auf einem leichten Sandboden ausgeführt worden. Der kohlensaure Kalk wurde in Form von Lehmmergel, Schlemmkreide, Wiesenkalk, Lüneburger Düngekalk, Korallenkalk und Marmor gegeben und im Vergleich hierzu auch der gebrannte Kalk geprüft. Soweit nicht die

[1]) Mergel und Mergeln. 2. Aufl. Berlin 1908.

kalkhaltigen Düngemittel in frischem Zustande (Lehmmergel, Wiesenkalk) gegeben wurden, fand die Verwendung in sehr feiner Form statt (Absieben durch das bekannte Thomasphosphatmehlsieb von A. Kahl, Hamburg). Trotz teilweiser nicht unbedeutender Abweichungen der Einzelerträge geht aus den Versuchen hervor, daß die verschiedenen Kalke erhebliche Unterschiede in der Wirkung nicht zeigten. Auch der gebrannte Kalk war in der Wirkung nicht besser als der kohlensaure Kalk.

Daß auch der Feinheit bei der Verwendung von kohlensaurem Kalk eine erhebliche Bedeutung zukommt, geht aus weiteren Versuchen von Heinrich hervor. Es wurden geerntet:

	Erbsen Körner + Stroh g	Nachfrucht Luzerne g
ohne Kalk	22,6	0,0
0,5 % Marmor < 0,5 mm	48,0	28,9
0,5 % „ 0,5—1 „	43,3	28,9
0,5 % „ 1—1,5 „	38,8	22,7
0,5 % „ 1,5—2 „	32,0	17,1

Die Wirkung des in Form von Marmor gegebenen Kalkes war um so größer, je feiner das Material war.

Sehr ausgedehnte Versuche über die Wirkung von gebrannten Kalken und Mergeln sind ferner von Ulbricht[1]) angestellt worden. Leider wurde die Mehrzahl der Versuche mit einem fast reinen Sand (Gemisch von Sand einer Sandgrube mit Hohenbockaer Glassand) ausgeführt, der trotz des sehr niedrigen Kalkgehaltes (0,077 %) bei den meisten Früchten nur ein sehr geringes Kalkbedürfnis zeigte[2]). Diese, mit verschiedenen Früchten ausgeführten Versuche ergaben, daß erhebliche Unterschiede in der Wirkung des gebrannten und kohlensauren Kalkes nicht vorhanden waren. Es zeigen dies folgende Zahlen:

	Gerste Versuch 1		Gerste Versuch 2	
	Körner g	Stroh g	Körner g	Stroh g
Ohne Kalk	120,9	154,7	63,2	125,4
1000 kg CaO gebr. Marmor[3])	122,9	172,3	85,4	152,0
2000 „ „ „ „	124,3	176,6	86,3	150,3
4000 „ „ „ „	123,8	177,9	90,5	159,7
1000 „ „ Wiesenkalk . .	115,1	169,2	87,6	155,9
2000 „ „ „ . .	108,0	169,7	92,7	157,9
4000 „ „ „ . .	120,7	171,7	88,3	153,2

[1]) Landw. Versuchsstationen Bd. 52, 57, 59, 60, 61, 62, 63.

[2]) Siehe auch Versuche des Verfassers mit Sand einer Sandgrube. Landw. Jahrbücher 1904 und Arbeiten der Versuchsstation Halle I.

[3]) Entsprechend pro Hektar.

	Hafer Körner	Hafer Stroh	Mais trocken	Kartoffeln frisch	Kartoffeln trocken
	g	g	g	g	g
Ohne Kalk	86,3	175,8	289,3	872,5	193,9
1000 kg CaO gebr. Marmor	102,4	187,8	320,0	938,5	208,9
2000 " " " "	110,4	213,9	346,0	939,5	207,4
4000 " " " "	108,0	207,8	348,2	950,0	209,6
1000 " " Wiesenkalk	104,3	199,2	331,5	941,5	212,4
2000 " " "	105,3	199,4	341,8	937,0	208,7
4000 " " "	107,7	203,0	339,4	943,5	209,5
1000 " " Kalksteinmehl	97,8	190,5	335,8	964,0	215,7
2000 " " "	110,9	198,9	343,3	1012,5	227,1
4000 " " "	105,4	199,8	343,5	934,5	207,0

Erhebliche Unterschiede zwischen Ätzkalk und Wiesenkalk bzw. Kalksteinmehl sind also nicht vorhanden.

Weitere Versuche sind von Tacke[1]) mit Erbsen auf einem humosen Sand, der 0,03 % Kalk und 0,04 % Magnesia enthielt, ausgeführt worden. Es wurden geerntet:

	Körner	Stroh
	g	g
Ohne Kalk	1,03	11,08
60 dz CaO gebrannter Kalk + Impferde	64,76	47,27
60 " " Mergel + "	64,74	48,62

Auch vom Verfasser[2]) sind vergleichende Versuche mit gebranntem und kohlensaurem Kalk ausgeführt worden, die zu folgenden Ergebnissen führten. Es betrug die Mehrernte bei einem mit Kleegrasgemisch ausgeführten Versuch:

	Mehrernte	Davon Leguminosen
	g	g
15 g Kalk als reiner kohlensaurer Kalk	23,90	4,15
15 " " " Kalkstein	23,35	4,19
15 " " " gebrannter Kalk . . .	22,90	6,65

Der in Form von Kalkstein gegebene Kalk war in einer sehr feinen Form verabreicht worden (< 0,1 mm).

Ein weiterer, mit Senf ausgeführter Versuch, bei welchem geringere Kalkmengen zur Anwendung gelangten und erheblich größere Mehrernten erzielt wurden, hatte folgendes Ergebnis:

---

[1]) Arbeiten der Moorversuchsstation Bremen, 4. Bericht, Landw. Jahrbücher 1898, Ergänzungsbd.

[2]) Landw. Jahrbücher 1900 u. 1904.

	Ernte g
Ohne Kalk	9,2
6 g Kalk als reiner kohlensaurer Kalk	61,0
6 „ „ „ Marmor	51,7
6 „ „ „ gebrannter Kalk . . .	66,4

Trotz der außerordentlichen Feinheit (< 0,1 mm), in der der Marmor auch hier zur Anwendung kam, hatte der reine kohlensaure-Kalk und besonders der gebrannte Kalk eine bessere Wirkung gezeigt als der Marmor.

Daß bei dem ersten Versuche, wie besonders auch bei den von Heinrich ausgeführten Versuchen, Unterschiede in der Wirkung des gebrannten und kohlensauren Kalkes nicht hervorgetreten sind, beruht auf der sehr feinen Form, in welcher der kohlensaure Kalk verwandt wurde, auf den verhältnismäßig großen Mengen, welche zur Anwendung gelangten (bei den Heinrichschen Versuchen 0,5 % des Bodens) und den nicht sehr hohen Mehrerträgen, welche durch den Kalk erzielt wurden. Je geringer die zur Anwendung kommenden Kalkmengen sind und je größer die Kalkwirkung, um so eher werden Unterschiede in der Wirkung der verschiedenen Formen zu erwarten sein.

Im großen und ganzen geht aber aus allen Versuchen hervor, daß bei nicht zu geringen Gaben und genügender Feinheit der verschiedenen Formen des kohlensauren Kalkes letzterer gegenüber dem Ätzkalk dort in der Wirkung nicht erheblich zurücksteht, wo es in erster Linie auf die Zufuhr von Kalk als Nährstoff ankommt.

Feldversuche[1]).

Mit Gerste und Kleegrasgemisch sind vergleichende Versuche über die Wirkung von gebranntem Kalk und Mergel von Baeßler[2]) ausgeführt worden. Es betrug der Mehrertrag pro Hektar:

	1. Jahr Gerste Körner dz	Stroh dz	2. Jahr Kleegras dz
20 dz Ätzkalk	2,30	4,98	8,57
40 „ kohlensaurer Kalk (Mergel)	2,22	2,58	9,11
30 „ Ätzkalk	4,28	2,88	10,95
60 „ kohlensaurer Kalk (Mergel)	4,49	4,49	13,11

[1]) Siehe hierüber auch: Düngungsversuche mit Kalk. Arb. der D. L. G., Heft 106, zusammengestellt von Dr. Hoffmann.

[2]) Das landw. Versuchswesen Preußens für das Jahr 1899. Landw. Jahrbücher 1901. Ergänzungsbd.

Hiernach hatte der Mergel zu Gerste dieselbe Wirkung gezeigt wie der gebrannte Kalk; zu Kleegrasgemisch war die Wirkung des Mergels noch eine etwas bessere.

Von Lilienthal[1]) wurde ein vergleichender Versuch mit Ätzkalk und kohlensaurem Kalk auf leichtem Marschboden ausgeführt. Es wurden geerntet:

	Kartoffeln dz
Ohne Kalk	190,0
27 dz gebrannter Kalk	248,0
56 „ Kalkmergel	264,0

Der gebrannte Kalk zeigte auch hier keine Überlegenheit. Je mehr dem Kalk aber neben der direkten Wirkung auf das Pflanzenwachstum die Aufgabe zufällt, die physikalische Beschaffenheit des Bodens zu verbessern, um so mehr wird man dem Ätzkalk auch dann den Vorzug geben müssen, wenn er sich am Verbrauchsorte teurer stellt als der kohlensaure Kalk. Für leicht zu bearbeitende Mittelböden wird es im allgemeinen gleich sein, ob der Kalk in Form von Ätzkalk oder feingemahlenem kohlensaurem Kalk, Mergel oder Wiesenkalk zur Anwendung gelangt, während auf leichten Sandböden größere Gaben von Ätzkalk zu vermeiden sind. Besonders gebe man sie nicht kurz vor der Bestellung, wo sie leicht schädlich wirken können, wie aus den zahlreichen, von Ulbricht ausgeführten Vegetationsversuchen hervorgeht.

β) Die Wirkung zu Lupine und Serradella.

Nachdem von Schulz-Lupitz beobachtet worden war, daß durch stärkere Mergelung das Wachstum der Lupinen benachteiligt wurde, ist dann von Heinrich[2]) durch Vegetationsversuche festgestellt worden, daß auf einem fast reinen Sande (Untergrund eines Sandbodens) durch größere Kalkmengen die Entwicklung der Lupinen stark beeinträchtigt wurde. Es wurden z. B. geerntet:

	Lupinen, trocken		
	Kohlens. Kalk g	Phosphors. Kalk g	Schwefels. Kalk g
Ohne Kalk	160,5	160,5	160,5
0,5 % Kalk	103,0	90,9	95,0
1 % „	58,7	4,0	83,0
5 % „	47,1	0,0	88,5
10 % „	26,7	0,0	70,6

[1]) Fühl. landw. Zeit., Bd. 49, 1900.
[2]) A. a. O.

Heinrich folgert hieraus:

1. Kalk in Form von kohlensaurem Kalk wirkt auf das Wachstum der Lupinen schon dann schädlich ein, wenn er in einer Menge von 0,46 % im Boden vorhanden ist.

2. Noch schädlicher wie kohlensaurer Kalk wirkt phosphorsaurer Kalk. Von letzterem genügt schon im Boden eine Menge von 1 %, um die Lupine nicht zur Entwicklung kommen zu lassen.

Auch aus den Untersuchungen von Schulze[1]) geht hervor, daß im Gegensatz zu Erbsen, Bohnen, Wicken und Rotklee die Lupine und Serradella auf leichten Sandböden gegen größere Kalkmengen sehr empfindlich sind, wie folgende Zahlen zeigen:

	Erbsen Körner	Erbsen Stroh	Bohnen trocken	Wicken trocken	Klee trocken	Lupine trocken	Serradella trocken
	g	g	g	g	g	g	g
Ohne Kalk . . .	95,4	134,1	218,0	179,0	124,0	94,0	104,8
0,5 % kohlens. Kalk	79,5	152,0	237,0	158,0	125,5	75,5	67,5
1,0 % „ „	96,8	159,2	255,0	198,0	136,0	60,1	39,7
2,0 % „ „	97,0	147,0	244,0	192,5	131,8	14,0	11,0
5,0 % „ „	85,7	138,3	223,0	184,0	126,9	5,0	0,0

Während bei den ersten vier Früchten selbst bei 5 % kohlensaurem Kalk ein Minderertrag gegenüber ohne Kalk nicht eingetreten ist, hatte schon ½ % die Entwicklung der Lupine und besonders der Serradella stark beeinträchtigt.

Sehr eingehend hat sodann auch Ulbricht[2]) die Wirkung des Kalkes in gebrannten Kalken und Mergeln bei Lupine und Serradella untersucht. Bei diesen, mit fast reinem Sande ausgeführten Versuchen kamen nun erheblich geringere Mengen von Kalk zur Anwendung, welche mehr den praktischen Verhältnissen entsprachen. Es zeigte sich aber auch hier, daß Lupinen und Serradella gegen direkte Kalkdüngung empfindlich waren. Besonders trat dies beim gebrannten Kalk, weniger beim kohlensauren Kalk hervor. Es wurden z. B. geerntet (ohne = 100):

	Lupine trocken Versuch I	Lupine trocken Versuch II	Lupine trocken Versuch III	Serradella trocken
Ohne Kalk	100	100	100	100
1000 kg CaO gebr. Kalk	99,2	91,0	76,9	78,2
2000 „ „ „ „	93,0	77,2	59,1	73,0
4000 „ „ „ „	—	72,7	43,9	61,9

2000 und 4000 kg gebrannter Kalk pro Hektar, im Winter gegeben, bewirkten somit schon eine erhebliche Ertragsverminderung, während

[1]) Das landw. Versuchswesen Preußens für das Jahr 1898, 1899 u. 1900. Landw. Jahrbücher. Ergänzungsbände.

[2]) A. a. O.

bei 1000 kg pro Hektar eine nachteilige Wirkung bei Lupinen (Versuch I und II) nicht eingetreten war. Die Serradella lieferte jedoch auch schon bei dieser Menge einen erheblichen Minderertrag. Selbst im zweiten Jahre wirkte bei Lupinen eine größere Ätzkalkgabe noch nachteilig:

	Ernte g
Ohne Kalk	258,9 = 100
1000 kg CaO	254,6 = 98,3
2000 „ „	232,0 = 89,6

Auch vom Verfasser[1]) wurde festgestellt, daß in reinem Sand die Lupinen schon gegen relativ geringe Kalkgaben empfindlich sind, wie folgende Zahlen zeigen. Es wurden geerntet:

	Lupinen trocken g
Ohne Kalk	88,2
7,50 g CaO als kohlensaurer Kalk	76,2
15,00 „ „ „ „ „	37,4

Können wir nun aus diesen Versuchen schließen, daß Lupine und Serradella als kalkfeindliche Pflanzen überhaupt angesehen werden müssen? Keineswegs. Lupinen und Serradella verhalten sich auf normalen, lupinen- und serradellafähigen Böden völlig anders, wie folgende, von Heinze[2]) ausgeführte Versuche ergeben haben:

	Lößlehmboden (1 % Kalk, 0,46 % kohlens. Kalk)	
	Lupinen trocken g	Serradella trocken g
Ohne Kalk	239,9	233,3
0,5 % kohlensaurer Kalk	227,2	254,5
10 % „ „	198,6	277,2

	Lößlehmboden (1 % Kalk, 0,46 % kohlens. Kalk)		Sandboden (0,19 % Kalk, 0,020 % kohlens. Kalk)	
	Lupinen g	Serradella g	Lupinen g	Serradella g
Ohne Kalk	150,9	156,4	201,0	174,1
1 % kohlens. Kalk	144,9	146,7	188,3	145,6
5 % „ „	—	127,2	143,0	94,7
1 % phosphors. Kalk (Präzipitat)	—	147,4	178,5	171,0

[1]) Landw. Jahrbücher 1904.

[2]) Landw. Jahrbücher 1910 u. Arb. der Versuchsstation Halle III.

Bei der Lupine hatte durch die hohe Kalkgabe von 10 % im ersten Versuch eine Verringerung der Erntemenge stattgefunden, während die Serradella eine nicht unbedeutende Ertragserhöhung zeigte. Beim zweiten Versuch zeigten Lupinen und Serradella durch 1 % Kalk auf dem Lößlehmboden eine unbedeutende, auf dem Sandboden eine ebenfalls nicht sehr erhebliche Verminderung des Ertrages. Das Präzipitat lieferte bei beiden Versuchen dasselbe Ergebnis.

Daß nun auf einem Boden mit 1 % Kalk und 0,46 % kohlensaurem Kalk Lupinen und Serradella ausgezeichnet gedeihen, zeigen die Lauchstädter Versuchsergebnisse[1]). Es wurden auf 1 ha geerntet:

1907	Obere Masse + Wurzeln			Durch die oberirdischen Teile wurden aufgenommen	
	Frische Substanz dz	Trockensubstanz dz	Stickstoff kg	Kalk kg	Magnesia kg
Lupinen nach Serradella	542,3	95,2	226,0	187,8	49,8
Serradella, 2. Anbau .	490,2	71,5	229,0	102,9	32,8
1908	Obere Masse				
Serradella, 2. Anbau .	447,0	69,3	189,9	167,7	39,5
Serradella, 4. Anbau .	463,0	74,8	211,7	175,0	42,6

Die Ansicht, daß Lupinen auf einem kalkreichen Boden nicht gedeihen, trifft also keineswegs zu. Der Lauchstädter Boden enthält in in der Ackerkrume 1 % und im Untergrunde 8—10 % Kalk, und auf diesem Boden sind 542 dz frische Lupinen und 490 dz frische Serradella mit 226 bzw. 229 kg Stickstoff geerntet worden, Ernten, wie sie höher auf bestem Sandboden nicht gemacht werden können. Auch die Kalkaufnahmen sprechen durchaus dafür, daß Lupinen und Serradella nicht zu den kalkfeindlichen Pflanzen zu rechnen sind. Es wurden von der Lupine 187,8 und von der Serradella im günstigsten Falle 175 kg Kalk durch die oberirdischen Teile aufgenommen, Mengen, welche die in den unter gleichen Verhältnissen gebauten Erbsen enthaltenen Kalkmengen noch erheblich übertreffen. (Siehe Tabelle I S. 6.) Selbst auf einem Lößlehmboden mit 16,72 % kohlensaurem Kalk konnten nach Versuchen von Heinze völlig normale Lupinen und Serradellapflanzen erzielt werden; letztere zeigten sogar eine außerordentlich üppige Entwicklung. Der Boden war durch einmaligen Anbau von Serradella unter Zusatz von Impferde von einem kalkreichen Boden für den Anbau dieser Pflanzen entsprechend vorbereitet worden.

---

[1]) Schneidewind, Die Stickstoffquellen und die Stickstoffdüngung. Berlin 1908, und Heinze, Jahresbericht der Vereinigung für angewandte Botanik. 1907.

Auch Prianischnikow[1]) beobachtete, daß die Lupinen eine große Widerstandsfähigkeit gegen Kalk zeigen, wenn sie auf Böden, die nicht zu den leichten Sandböden gehören, gebaut werden. Es erwies sich bei diesen Versuchen der Hafer gegen höhere Kalkgaben erheblich empfindlicher als die Lupinen.

Boden	Frucht	Kalkgabe			
		0 %	1/4 %.	1/2 %	1 %
Schwarzerde	Weizen	8,0	9,0	13,8	19,6 g
„	Lupinen	13,3	14,0	16,6	20,1 „
Saurer Lehm	Hafer	16,9	25,9	34,4	0,5 „

Worauf ist nun das verschiedene Verhalten dieser Pflanzen gegenüber dem Kalkgehalte des Bodens, bzw. der Düngung auf den verschiedenen Böden zurückzuführen?

Wir wissen aus den Untersuchungen von Lemmermann[2]), daß Lupinen und Serradella einen höheren Säuregehalt aufweisen als die übrigen Leguminosen. Es betrug die Azidität von 100 g Wurzeltrockensubstanz, bezogen auf $\frac{1}{10}$ n. ccm Natronlauge:

Erbsen	77,0
Bohnen	58,0
Lupinen	104,4
Serradella	über 100.

Dies dürfte auch in erster Linie der Grund sein, daß sich die Knöllchenorganismen von Klee, Erbsen, Bohnen usw. einerseits und Lupinen und Serradella andererseits nicht ohne weiteres vertreten können. Sie müssen sich diesen Pflanzen erst auf dem Wege der Passagekultur anpassen, was schon beim zweiten bzw. dritten Anbau derselben erfolgt ist. So wurden z. B. an Serradella in Lauchstädt geerntet:

	Trockensubstanz dz pro ha	Stickstoff kg
1. Anbau	37,5	67,88
2. „	69,3	189,88
4. „	74,8	211,68

Auf kalkreichen Böden treten nun durch stärkere Kalkdüngungen bezüglich ihres Einflusses auf die Organismen sowohl wie auch auf die Pflanze, wesentliche Änderungen in dem physiologischen Verhalten der Knöllchenorganismen wahrscheinlich nicht ein, während auf einem

---

[1]) Journal für exp. Landwirtsch. 1903. Ref. Jahresber. für Agrikulturchemie 1903.
[2]) Landw. Versuchsstationen, Bd. 67.

kalkarmen Sandboden durch größere Kalkmengen die Azidität der Wurzeln höchstwahrscheinlich wesentlich geändert und dadurch auch die Organismen in ihrer Fähigkeit, den elementaren Stickstoff zu assimilieren, erheblich beeinflußt werden. Dies wird sich um so nachteiliger bemerkbar machen, als auf den leichten Sandböden die Leguminosen nicht in demselben Maße vom Bodenstickstoff zehren können als auf besseren, stickstoffreicheren Böden. So konnten z. B. die Lupinen auf dem Lauchstädter Boden beim ersten Anbau nach Kartoffeln bzw. Senf ohne irgendwelchen Knöllchenansatz 96,5 bzw. 112 kg Stickstoff aufnehmen, Mengen, die sie ausschließlich dem Bodenstickstoff entnehmen mußten.

Nach Handurin[1]) läßt sich die Wirkung des Kalkes auf die Lupine in zwei Perioden zerlegen. Während der ersten Periode ist Kalk nützlich, während der zweiten schädlich. In der ersten Periode hat die Funktion der Wurzelknöllchen keine große Bedeutung, da die Pflanze noch vom Bodenstickstoff lebt. In der zweiten Periode werden dagegen an den gebundenen Stickstoff höhere Anforderungen gestellt. Da die Knöllchenorganismen durch Kalk in der Entwicklung gehemmt werden, so können die Wurzelknöllchen den Mangel an Stickstoff nicht mehr ausgleichen. Die Pflanze hungert somit nach Stickstoff. In diesem Falle wirkt der kohlensaure Kalk nach Handurin indirekt schädlich.

Daß nun auch auf den leichten Böden die in der Praxis üblichen Kalkmengen den Lupinen in ihrer Entwicklung kaum nachteilig sind, geht aus Versuchen von Baeßler[2]) hervor. Auf einem Boden mit 0,31 % Kalk wurde das Wachstum der Lupinen durch 20 dz Ätzkalk nur unwesentlich beeinflußt. Sollen größere Kalkmengen auf kalkarmem Sandboden zur Anwendung gelangen und zeigt sich bei kleineren Vorversuchen, daß Lupine und Serradella — diese für den leichten Boden so wichtigen Gründüngungspflanzen — in ihrer Entwicklung erheblich benachteiligt werden, so gebe man zweckmäßig diese Mengen nicht auf einmal, sondern verteile sie auf mehrere Jahre, damit sich diese Pflanzen sowohl wie auch die Knöllchenorganismen allmählich dem höheren Kalkgehalte anpassen können.

---

[1]) Über die Einwirkung des kohlensauren Kalkes auf die Entwicklung der gelben Lupine im Bleisandboden. Journ. für exp. Landwirtschaft 1906. · Ref. Jahresbericht für Agrikulturchemie 1906.

[2]) Jahresber. der Versuchsstation Köslin 1896.

b) Die Wirkung der kohlensauren und gebrannten Magnesia.

Es ist durch zahlreiche Vegetationsversuche von Ulbricht, Maercker, Schneidewind und auch vom Verfasser schon vor längerer Zeit der Nachweis geliefert worden, daß die Magnesia in kohlensaurer oder gebrannter Form, auch wenn für die Ernährung völlig ausreichende Magnesiamengen vorhanden sind, auf kalkbedürftigen Böden einen sehr günstigen Einfluß auf das Wachstum der verschiedenen Kulturpflanzen ausübt.

So erhielt Ulbricht[1]), der wohl die eingehendsten Untersuchungen hierüber angestellt hat, folgende Resultate bei einigen dieser Versuche:

	Gerste			
	1. Versuch		2. Versuch	
	Körner	Stroh	Körner	Stroh
	g	g	g	g
Ohne Kalk und Magnesia	13,13	16,37	53,32	68,92
1000 kg[2]) CaO gebrannter Marmor . .	14,93	17,47	52,84	83,87
1000 „ MgO „ Magnesit bzw. 600 „ CaO + 400 kg MgO	14,10	18,32	58,95	88,85
2000 „ „ gebrannter Marmor . .	17,51	20,16	59,12	86,83
2000 „ MgO „ Magnesit bzw. 1500 „ CaO + 500 kg MgO	13,86	18,74	60,44	96,22

	Hafer		Mais	Kartoffeln			
				1. Versuch		2. Versuch	
	Körner	Stroh	trocken	frisch	trocken	frisch	trocken
	g	g	g	g	g	g	g
Ohne Kalk und Magnesia	175,83	86,33	289,26	872,7	193,85	1842,5	424,0
1000 kg CaO gebrannter Marmor	187,76	102,40	319,95	938,5	208,89	1840,0	458,15
600 kg CaO gebrannter Marmor . . . . . 400 kg MgO gebrannter Magnesit	193,25	103,24	335,45	960,5	214,54	2112,2	495,5
2000 kg CaO gebrannter Marmor	213,78	110,40	346,02	939,5	207,36	2350,0	532,8
1500 kg CaO gebrannter Marmor . . . . . 500 kg MgO gebrannter Magnesit	198,24	107,95	357,49	915,5	201,52	2082,5	481,75

Obgleich das Kalkbedürfnis des zu diesen Versuchen verwandten Sandes kein erhebliches war, so tritt doch die günstige Wirkung der Magnesia, teils als gebrannter Magnesit allein angewandt, teils in Gemeinschaft mit gebranntem Kalk gegeben, bei allen Versuchen hervor,

---

[1]) A. a. O.

[2]) Entsprechende Mengen pro Hektar.

soweit sie bei höheren Gaben auf dem Sandboden nicht nachteilig gewirkt hat. Auch mit natürlicher kohlensaurer Magnesia (Magnesit), die in erheblich größeren Mengen angewandt wurde, traten bei Gerste und Serradella, Hafer und Wicke, Roggen und Sandwicke, gelber Lupine, Buchweizen und Ölrettich Ertragssteigerungen ein.

Bedeutend höhere Erträge sind nun bei den von Maercker, Schneidewind und dem Verfasser[1]) ausgeführten Versuchen zu verzeichnen:

	Sand + 2½ % Torf			
	Pferdebohnen		Wicken	
	Körner	Stroh	Körner	Stroh
	g	g	g	g
Ohne Kalk und Magnesia	4,60	50,70	—	—
15 g kohlensaurer Kalk .	64,70	131,40	39,75	130,05
30 „ „ „ .	77,35	166,50	61,35	190,75
15 „ „ „ 15 „ kohlensaure Magnesia	**90,35**	**178,10**	**115,90**	**247,20**

Das Sand-Torfgemisch erwies sich als außerordentlich kalkbedürftig so daß mit steigenden Kalkgaben auch der Ertrag an Körnern und Stroh erhöht wurde. Bei den nicht mit Kalk und Magnesia gedüngten Gefäßen waren die Wicken überhaupt nicht zur Entwicklung gekommen. Sämtliche Pflanzen starben nach kurzer Zeit ab, während die Pferdebohnen ohne Kalk und Magnesia zwar eine ansehnliche Strohmenge, aber nur eine geringe Menge an Körnern produzierten. Wo bei der hohen Kalkgabe die Hälfte des Kalkes durch Magnesia ersetzt wurde, stieg der Ertrag um weitere 13 g Körner und 11,60 g Stroh, während bei den Wicken sich der Ertrag um 54,55 g Körner und 56,45 g Stroh erhöhte. Da Magnesia in der Grunddüngung nicht gegeben war, könnte man schließen, daß es den Wicken in dem kalkarmen Sande an der zur Entwicklung notwendigen Magnesiamenge gefehlt habe. Daß dies jedoch nicht der Fall ist, zeigt der folgende Versuch, bei dem ausreichende Mengen von schwefelsaurer Magnesia in der Grunddüngung gegeben wurden.

	Pferdebohnen trocken
	g
Ohne Kalk und Magnesia	38,0
6 g kohlens. Kalk.	98,9
6 „ „ Magnesia	**113,8**
3 „ „ Kalk + 3 g kohlens. Magnesia	97,1
15 „ „ „	149,2
15 „ „ Magnesia	**139,3**
7,5 „ „ Kalk + 7,5 g kohlens. Magnesia	167,4

[1]) Landw. Jahrbücher 1901 u. 1904 und Arbeiten der Versuchsstation Halle I.

Aus diesen Zahlen geht hervor, daß die alleinige Magnesiagabe außerordentlich günstig auf den Ertrag gewirkt hat.

	Erbsen Körner	Erbsen Stroh	Möhrenwurzeln frisch	Möhrenwurzeln trocken
	g	g	g	g
Ohne Kalk und Magnesia	23,55	75,30	463,4	70,8
7,50 g CaO als kohlens. Kalk . . .	53,10	94,20	1190,1	165,9
7,50 „ MgO „ „ Magnesia .	**58,45**	**87,60**	**809,5**	**113,2**
3,75 „ CaO „ „ Kalk; 3,75 „ MgO „ „ Magnesia	56,55	93,60	955,1	140,4
15 „ CaO „ „ Kalk . . .	59,65	101,00	933,2	125,7
15 „ MgO „ „ Magnesia .	27,15	73,70	132,2	18,1
7,50 „ CaO „ „ Kalk; 7,50 „ MgO „ „ Magnesia	51,60	96,90	880,5	119,5

Die Magnesia hatte somit bei der kleinen Gabe bei Erbsen denselben Mehrertrag wie der kohlensaure Kalk geliefert, während die gegen reine kohlensaure Magnesia sehr empfindlichen Möhren bereits durch die kleine Gabe gegenüber dem Kalk benachteiligt wurden.

	Rotklee trocken	Senf trocken
	g	g
Ohne Kalk und Magnesia	13,1	9,2
6 g CaO als kohlens. Kalk	90,1	61,0
6 „ „ „ gebr. „	—	66,4
6 „ MgO „ kohlens. Magnesia	**91,8**	**75,5**
6 „ MgO „ gebr. „	—	**97,4**
3 „ CaO kohlens. Kalk; 3 „ MgO „ Magnesia	90,5	—
6 „ „ Magnesit	—	22,1

Sowohl die kohlensaure wie besonders auch die gebrannte Magnesia hatten höhere Mehrerträge geliefert als der kohlensaure und gebrannte Kalk.

Worauf beruht nun die außerordentlich günstige Wirkung der Magnesia? Da, wie die einseitige Kalkdüngung zeigt, ein Nährstoffmangel an Magnesia nicht vorhanden war, so unterliegt es keinem Zweifel, daß die Magnesia die Funktionen des Kalkes bis zu einem gewissen Grade übernehmen und den Kalk auf kalkbedürftigen Böden damit in der Wirkung ersetzen kann.

Die schädliche Wirkung höherer Magnesiagaben.

In reinem Sand oder sehr leichten Sandböden wirken größere Gaben von reiner kohlensaurer Magnesia oder gebranntem Magnesit oder auch gebrannten dolomitischen Kalken leicht nachteilig, wie vom Verfasser ausgeführte Versuche ergeben haben:

	Sand + 2½ % Torf				
	Roggen		Hafer		Raygras
	Körner	Stroh	Körner	Stroh	trocken
	g	g	g	g	g
Ohne Magnesia	60,75	102,30	82,84	108,40	66,2
15 g MgO als kohlensaure Magnesia	60,05	111,00	58,05	87,40	56,4
30 g MgO als kohlensaure Magnesia	2,70	64,00	0,00	0,00	0,0

	Erbsen		Möhren	Lupinen	Serradella
	Körner	Stroh	trocken	trocken	trocken
	g	g	g	g	g
Ohne Magnesia	15,70	50,20	70,8	88,2	61,5
15 g MgO als kohlensaure Magnesia	18,10	49,10	11,0	37,4	60,7
30 g MgO als kohlensaure Magnesia	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0

Von den Getreidearten erwies sich demnach der Hafer gegen höhere Magnesiagaben erheblich empfindlicher als der Roggen. Bei Anwendung von 5 g MgO (16 dz pro Hektar) war der Körner- und Strohertrag bereits erheblich vermindert worden. Stark ertragsvermindernd zeigte sich diese Magnesiamenge sodann noch bei den Möhren. Bei der höheren Gabe von 10 g MgO (32 dz pro Hektar) gelangte außer Roggen keine Pflanze mehr zur Entwicklung.

Auch die Ulbrichtschen Versuche lassen die schädliche Wirkung höherer Magnesiagaben erkennen, wie folgende Zahlen zeigen:

	Gerste			
	1. Versuch		2. Versuch	
	Körner	Stroh	Körner	Stroh
	g	g	g	g
Ohne Kalk und Magnesia . . .	113,3	145,4	63,24	125,4
2000 kg[1]) CaO gebrannter Kalk .	116,3	153,0	86,30	150,2
1200 „ „ „ „ 800 „ MgO „ Magnesit	101,1	150,1	81,70	155,1

[1]) Entsprechende Mengen pro Hektar.

	Erbsen		Kartoffeln	
	Körner	Stroh	frisch	trocken
	g	g	g	g
Ohne Kalk und Magnesia . . .	22,57	35,85	1842,5	424,0
2000 kg CaO gebrannter Kalk . .	21,18	26,00	2350,0	532,8
1200 „ „ „ „ 800 „ MgO „ Magnesit	25,69	23,98	2110,0	482,0
2000 „ „ „ „	1,47	8,79	—	—

Bei Gaben von 2000 kg gebranntem Kalk mit 40 % Magnesia hatte letztere fast überall, gegenüber Kalk allein, schädigend auf das Wachstum in dem fast reinen Sande gewirkt. Sehr scharf tritt dies bei Anwendung von gebranntem Magnesit allein hervor. Ulbricht rät daher auch, auf sehr leichten Böden nicht mehr als 10 dz von den magnesiareichen Graukalken pro Hektar anzuwenden, oder besser noch einen Teil Graukalk und einen Teil gebrannten Kalk in Mengen von je 5—7,5 dz, falls nicht magnesiaärmere Graukalke zur Verfügung stehen. Aus den Ulbrichtschen Versuchen geht ferner auch hervor, daß bei gleichzeitiger Kalkdüngung die nachteilige Wirkung der Magnesia weniger hervortritt als bei großem Kalkmangel, wie ihn fast immer der reine Sand zeigt.

Dem gegenüber muß nun hervorgehoben werden, daß schon auf sandigen Ackerböden die schädliche Wirkung, welche sowohl bei der kohlensauren Magnesia wie auch bei dem gebrannten Magnesit in erster Linie auf der starken alkalischen Reaktion beruht, weit geringer ist als in reinem Sande. Je mehr lehmige Beimengungen ein Boden enthält, um so weniger ist ein Nachteil auch bei höheren Gaben von dolomitischen Kalken zu befürchten. So wurden z. B. geerntet:

	Senf	
	Sand + Torf	Lößlehmboden
	g	g
Ohne Magnesia	52,90	36,60
10 g MgO als reine kohlensaure Magnesia	0,00	27,20

Während durch die kohlensaure Magnesia beim Sand-Torfgemisch durch 10 g MgO pro Gefäß keinerlei Entwicklung mehr stattfand, wurde bei dem Lößlehmboden der Ertrag nur von 36,60 auf 27,20 g vermindert. Auch durch Zusatz so großer Mengen an kohlensaurem Kalk, wie sie der Lößlehmboden enthielt, wurde die Entwicklung in dem Sand-Torfgemisch völlig unterdrückt. Ferner konnte festgestellt werden, daß bei demselben Lößlehmboden, bei welchem in den Gefäßen durch hohe Magnesiagaben eine Ernteverringerung eintrat, in freiem

Lande sich kein nachteiliger Einfluß der Magnesia bemerkbar machte. Es wurde geerntet:

	Gefäßversuch Senf, trocken g	Freilandversuch Senf, trocken g
Ohne Magnesia	36,60	359,1
32 dz MgO als kohlensaure Magnesia	27,20	366,8

Vergleichende Feldversuche über die Wirkung von gebrannten Kalken und Mergeln und dolomitischen Kalken und Mergeln bzw. gebranntem Magnesit liegen meines Wissens bis jetzt nicht vor, wohl aber eine Reihe günstiger Erfahrungen aus der Praxis. So berichtet bereits Stöckhardt, daß der gebrannte dolomitische Kalk unter den sächsischen Landwirten in höchstem Ansehen stehe und man denselben bis auf weite Entfernungen versende, da es als eine allgemeine Erfahrung gelte, daß der dolomitische Kalk kräftiger und nachhaltiger wirke als andere Kalksorten. Weitere Versuche über die günstige Wirkung dolomitischer Kalke liegen von Völcker aus England und von Schlösing und Müntz aus Frankreich vor[1]). Auch Kellner[2]) hält den dolomitischen Kalk als gleichwertig mit dem reinen Kalk. Ferner berichtet Zersch[3]), daß das Vorurteil, welches dem dolomitischen Kalke vielfach entgegengebracht werde, unbegründet sei. Es seien von ihm günstigere Ergebnisse wie mit reinem Kalke erzielt worden.

Der Einfluß des Kalkes und der Magnesia auf die Ausnutzung der Phosphorsäure verschiedener Düngemittel.

Wenn wir im Abschnitt B den Einfluß des Kalkes auf die Bodenphosphorsäure im allgemeinen besprochen haben und hierbei zu dem Ergebnis kamen, daß der Kalk für die Erhaltung der Wirksamkeit der Phosphorsäure im Boden und für die Verhütung der Wanderung in tiefere Schichten von ganz außerordentlicher Bedeutung ist, so müssen wir auch noch kurz den Einfluß des Kalkes (des Bodens und der Düngung) auf die Wirkung der Phosphorsäure verschiedener phosphorsäurehaltiger Düngemittel betrachten. Es ist eine bekannte Tatsache, daß diejenigen Düngemittel, welche die Phosphorsäure in schwer löslicher Form enthalten, wie das Knochenmehl und auch gewisse erdige Rohphosphate, auf besserem Boden mit höherem Kalkgehalte keine

[1]) Kellner, Jahrbuch der D. L. G. 1898.

[2]) Kellner und Köhler, Über den Düngerwert des Graukalkes. Sächs. landw. Zeitschrift 1895 Nr. 24.

[3]) Jahrbuch der D. L. G. 1898.

befriedigende Wirkung im allgemeinen zeigen[1]), daß dagegen diese Düngemittel auf kalkarmen, humosen Böden, besonders wenn sie noch einen gewissen Gehalt an sauer reagierenden Substanzen besitzen, eine recht gute Wirkung zeigen können. Es ist nun zuerst von Kellner[2]) darauf hingewiesen worden, daß die Wirksamkeit der Knochenmehlphosphorsäure wesentlich herabgedrückt werden kann, wenn dem Boden gleichzeitig größere Mengen von kohlensaurem Kalk zugeführt werden. Ein derartig ungünstiger Einfluß machte sich beim Thomasmehl und Superphosphat nicht geltend. Es wurde nach Versuchen von Kellner auf einem humosen, sandigen Lehmboden mit 0,45 % Kalk und 1,91 % Humus geerntet:

	Senf trocken	
	Ohne Kalk g	10 g kohlens. Kalk pro Gefäß g
Ohne Phosphorsäure	20,5	13,7
0,25 g „ Super . . .	41,5	36,4
0,25 „ „ Thomasmehl	41,8	45,1
0,40 „ „ Knochenmehl I	37,0	20,8

Es betrug die Ertragserniedrigung durch den Kalk beim Superphosphat und Thomasmehl 12 %, beim Knochenmehl im Mittel 50 %.

Weitere Versuche sind sodann von Schulze[3]) ausgeführt worden, die im großen und ganzen dasselbe Resultat ergaben. Auch hier zeigte sich eine Verringerung der Wirkung des Knochenmehls bei Anwendung größerer Kalkmengen. Es betrug der Mehrertrag bei Senf (ohne = 100):

	Kohlensaurer Kalk	
	Herbst	Frühjahr
Thomasmehl	91	90
Knochenmehl	50	55

	Gebrannter Kalk	
	Herbst	Frühjahr
Thomasmehl	61	45
Knochenmehl	44	1

Der kohlensaure Kalk hatte die Wirkung der Phosphorsäure im Knochenmehl erheblich verringert. Der Ätzkalk hatte, im Herbst gegeben, noch etwas nachteiliger als der kohlensaure Kalk gewirkt, im Frühjahr gegeben aber die Wirkung der Knochenmehlphosphorsäure auf Null reduziert. Die Frühjahrsdüngung mit Ätzkalk hatte auch beim Thomas-

[1]) Schneidewind, Arbeiten der Versuchsstation Halle II.

[2]) Deutsche landw. Presse 1900, S. 665, 1901, S. 194.

[3]) Fühl. landw. Zeitung 1904.

mehl außerordentlich nachteilig gewirkt. Dies ist auf die schädliche Wirkung des Ätzkalkes als solchem zurückzuführen.

Schulze ist ebenso wie Kellner der Ansicht, daß der Kalk durch die Abstumpfung der sauren Bodenbestandteile, welche zur Lösung der Knochenmehlphosphorsäure notwendig seien, eine nachteilige Wirkung ausübe. Werden diese Bestandteile durch den Kalk neutralisiert, so sei die lösende Kraft lahmgelegt. Auch für die Bodenphosphorsäure führt Schulze zum Teil die beobachteten Mindererträge auf den gekalkten Parzellen hierauf zurück. „Die Erfahrung lehrt, daß die sauren Verbindungen des Bodens für die Leistung der schwer löslichen Phosphate unentbehrliche Helfer sind. Wenngleich auf Beseitigung der Humussäuren, die als Bakteriengifte schädlich sind, durch Kalkung hingearbeitet werden muß, so wird doch das wesentlichste Hilfsmittel für die Düngerleistung schwer löslicher Phosphorsäureverbindungen, besonders auch des Knochenmehls, immer die Erhaltung und Erneuerung eines gewissen Vorrats von Humussubstanzen im Boden sein, und so sehen wir, daß der Kreislauf der Bildung und Zersetzung der organischen Substanz im Boden auch für die Versorgung der Kulturpflanzen mit Phosphorsäure eine nicht geringe Bedeutung hat."

Ferner haben Westhausser und Zielstorff[1]) Versuche hierüber ausgeführt und neben dem Kalk auch die Magnesia mit geprüft. Es zeigte sich bei diesen Versuchen, daß die schädigende Wirkung der Magnesia stärker war als diejenige des Kalkes. Daß die Magnesia hierbei ungünstiger abgeschnitten hat, ist höchstwahrscheinlich auf die viel feinere Beschaffenheit der zu den Versuchen verwandten reinen kohlensauren Magnesia zurückzuführen.

Nach Untersuchungen von Koch und Kröber[2]) erklärt sich die bessere Wirkung des Knochenmehls in humusreichen Böden nicht durch die aufschließende Wirkung des Humus und der Kohlensäure des Bodens, sondern durch die lebhafte Tätigkeit säurebildender Bakterien in solchen Böden.

In ähnlicher Weise wirken auch physiologisch saure Düngemittel auf kalkarmen Böden aufschließend auf die Phosphorsäure des Knochenmehles und anderer schwer löslicher Phosphate, wie Versuche von Prianischnikow[3]) und Söderbaum[4]) ergeben haben.

---

[1]) Landw. Versuchsstationen, Bd. 65.

[2]) Der Einfluß der Bodenbakterien auf das Löslichwerden der Phosphorsäure in verschiedenen Phosphaten, Fühlings landw. Zeitung 1905.

[3]) Landw. Versuchsstationen, Bd. 56.

[4]) Landw. Versuchsstationen, Bd. 67.

Nach Untersuchungen von Schlösing[1]) ist das dreibasige Kalksalz in kohlensäurehaltigem Wasser nicht unerheblich löslich. Es lösten:

destilliertes Wasser . . . . 0,74 mg,
mit Kohlensäure gesättigtes Wasser 91,9 „

Anders verhielt sich dagegen das Triphosphat bei Gegenwart von Kalkkarbonat und Kalkbikarbonat. Entsprach die Menge des letzteren der vorhandenen Kohlensäure, so fand fast keine Lösung statt. Wurde ein Verhältnis von Kohlensäure und kohlensaurem Kalk angewandt, wie es sich annähernd in der Bodenfeuchtigkeit befindet, so wurde weniger Kalkphosphat gelöst, als von reinem kohlensäurefreien Wasser. Die in der Bodenfeuchtigkeit vorhandene Kohlensäure trägt daher nach Schlösing nichts zu der Lösung der Phosphorsäure bei, vorausgesetzt, daß es sich um keinen kalkfreien Boden handelt.

Daß die schädliche Wirkung einer zu starken Kalkung nicht immer auf die Lahmlegung der Phosphorsäureaufschließung schwer löslicher Phosphate durch den Boden zurückzuführen zu sein braucht, sondern daß sie ihren Grund auch in der Neutralisation der Wurzelsäuren der Pflanzen haben kann, schließt Suzuki[2]) aus den von ihm angestellten Versuchen.

Es wurde bei diesen Versuchen, welche mit einem Boden, der 11 % Humus enthielt, angestellt wurden, geerntet:

	Körner g	Stroh g
Grunddüngung ohne Phosphorsäure	20,5	30,2
Natriumphosphat (Na_2HPO_4)	39,5	44,5
Knochenmehl	40,5	54,5
Natriumphosphat + 12 g kohlensaurer Kalk . . .	51,0	58,4
Knochenmehl + 12 g kohlensaurer Kalk	39,7	54,0
Natriumphosphat + 116,86 g kohlensaurer Kalk .	17,4	25,6
„ + 158,93 „ schwefelsaurer Kalk .	68,5	33,3
„ + 206,69 „ Magnesit	8,0	21,2

Knochenmehl und Natriumphosphat zeigten ohne Kalk fast dieselbe Wirkung. Eine geringe Kalkmenge hatte beim Natriumphosphat eine günstige Wirkung ausgeübt, während beim Knochenmehl derselbe Ertrag erzielt wurde. Die hohe Kalkmenge verringerte auch beim Natriumphosphat den Ertrag sehr erheblich, während dieselbe Menge in Form von Gips den Körnerertrag nicht unbedeutend erhöhte.

---

[1]) Über die Löslichkeit von Calciumtriphosphat in der Bodenfeuchtigkeit bei Gegenwart von Kohlensäure. Jahresber. für Agrikulturchemie 1901.

[2]) Über die schädliche Wirkung einer zu starken Kalkung des Bodens. Jahresber. für Agrikulturchemie 1905.

Wenn wir nun die Frage aufwerfen, ob im Interesse einer günstigen Ausnutzung der Knochenmehlphosphorsäure eine sonst etwa zweckmäßige Kalkung unterbleiben solle, so müssen wir dies unbedingt verneinen. Die Aufgaben des Kalkes im Boden sind, wie wir gesehen haben, so vielseitige und wichtige, daß es unbedingt notwendig erscheint, den Kalkgehalt derartig zu bemessen, daß alle Umsetzungen der Bodenbestandteile und die Wirkung der übrigen Düngemittel in günstiger Weise verlaufen können. Wir werden dann bei nicht genügender Wirksamkeit des Knochenmehls zu andern phosphorsäurehaltigen Düngemitteln wie Thomasmehl, Präzipitat und Superphosphat greifen müssen, welche einer geringeren Ausnutzung durch Erhöhung des Kalkgehaltes nicht wesentlich unterliegen.

3. Der schwefelsaure Kalk, die schwefelsaure Magnesia und das Chlormagnesium und ihre Wirkung auf das Pflanzenwachstum.

a) Der schwefelsaure Kalk oder Gips.

Derselbe ist in der Natur ebenfalls weit verbreitet. In größerer Ausdehnung finden wir den Gips in der Zechsteinformation, wo er, besonders am südlichen Harzrande, eine erhebliche Mächtigkeit besitzt. Die Löslichkeit des Gipses in reinem Wasser ist zwar nicht sehr bedeutend, aber erheblich größer als die des kohlensauren Kalkes. Dieselbe schwankt je nach der Temperatur des Wassers und beträgt bei 10° C 1 : 386, d. h. 386 Teile Wasser lösen 1 Teil Gips auf. Durch Erhitzen auf 150—160° verliert der Gips sein Kristallwasser und wird zu sog. gebranntem Gips, in welcher Form er technisch hauptsächlich Verwendung findet, während derselbe zu Düngerzwecken nur gemahlen wird. Der Gehalt des wasserhaltigen Gipses an Kalk beträgt in reiner Form etwa 32,50 %. Der Gips enthält also erheblich weniger Kalk als der kohlensaure Kalk, der in reiner Form 56 % Kalk aufweist.

Über die Wirkung des Gipses im Vergleich zum kohlensauren Kalk sind vom Verfasser [1]) Versuche ausgeführt worden. Es wurde hierzu ein Boden benutzt, der für Senf und Rotklee ein ausgesprochenes Kalkbedürfnis zeigte. Die Reaktion des Bodens war eine saure. Die Azidität betrug 0,05 %, auf Kohlensäure berechnet. Die Ergebnisse dieser Versuche waren folgende:

	Rotklee trocken	Senf trocken	Senf (Nachwirkung) trocken	Mittel
	g	g	g	g
Ohne Kalk	129,1	104,2	98,1	110,5
Kohlensaurer Kalk [2]) . . .	156,5	133,1	132,8	140,8
Schwefelsaurer Kalk [2]) . . .	120,5	90,5	77,2	96,1

[1]) Landw. Jahrbücher 1910 und Arbeiten der Versuchsstation Halle III.

[1]) Entsprechend 6,4 dz CaO pro Hektar = 11,4 dz kohlens. Kalk bzw. 20 dz Gips.

Bei sämtlichen Versuchen hatte der Gips somit eine Ertragsverminderung bewirkt, während durch den kohlensauren Kalk eine erhebliche Steigerung des Ertrages eingetreten war.

	Hafer		Kartoffeln	
	Körner	Stroh	frisch	trocken
	g	g	g	g
Ohne Kalk	143,3	215,0	2165,5	549,0
Kohlensaurer Kalk . . .	143,7	206,1	2217,2	571,4
Schwefelsaurer Kalk . . .	141,1	202,8	2106,6	513,1

Für den Hafer lag ein Kalkbedürfnis auf diesem Boden nicht vor. Der Gips hatte in geringem Grade den Körner-, in etwas höherem Grade den Strohertrag verringert. Bei Kartoffeln ist durch den Gips sowohl der Ertrag an frischer wie auch an Trockensubstanz erniedrigt worden, während der kohlensaure Kalk eine deutliche, wenn auch nicht sehr erhebliche Ertragssteigerung bewirkt hatte.

Aus diesen Versuchen geht also hervor, daß für sauer reagierende Böden, die, wie schon früher ausgeführt, sehr zahlreich vorkommen, der Gips kein geeignetes Düngemittel ist.

Wir wissen aus den Untersuchungen von Fleischer[1]) und Tacke[2]), daß der Gips auf sauren Humusböden besonders zu Leguminosen eine nachteilige Wirkung infolge Abspaltung von Schwefelsäure durch die Humussäuren ausübt. Auf diese Erscheinung werden auch bei den vorliegenden Versuchen die Ergebnisse zurückgeführt werden müssen. Die schädliche Wirkung des Gipses ist vom Verfasser bereits früher, besonders bei Benutzung von Zinkgefäßen, beobachtet worden. Bei diesen Versuchen war die schädliche Wirkung besonders stark infolge der Giftwirkung des durch die freie Schwefelsäure gebildeten schwefelsauren Zinkes hervorgetreten. Bei den vorliegenden, in Tongefäßen ausgeführten Versuchen konnte der Einfluß der Gefäße sich nicht geltend machen.

Nach den Untersuchungen von Kozai[3]) und Daikuhara spalten Böden, die saure, wasserhaltige Silikate enthalten, aus neutralen Salzen, wie Chlorkalium, Chlorammonium und schwefelsaurem Ammoniak freie Mineralsäuren ab. Auf solchen Böden muß besonders die Wirkung physiologisch saurer Düngemittel (schwefelsaures Ammoniak) eine weit schlechtere sein als auf neutralen oder schwach alkalischen Böden. Wie wichtig auch bei der Ammoniakdüngung die Gegenwart von genügenden

---

[1]) Arb. der Moor-Versuchsstation Bremen, 3. Bericht, Landw. Jahrbücher 1881, Ergänzungsband.

[2]) Fühlings landw. Zeitung 1905.

[3]) Chemikerzeitung 1909 Nr. 98.

Kalkmengen, welche die freiwerdende Schwefelsäure neutralisieren können, ist, geht aus einem früheren Versuche des Verfassers [1]) hervor. Der Kalk wurde bei diesem, in einem Sand-Torfgemische ausgeführten Versuche einerseits in Form von kohlensaurem, andererseits in Form von schwefelsaurem Kalk gegeben. Bei dem mit Kleegrasgemisch ausgeführten Versuche wurde geerntet:

	Stickstoff als Salpeter Ernte trocken	Stickstoff als schwefels. Ammoniak Ernte trocken
	g	g
Schwefelsaurer Kalk	93,5	26,2
Kohlensaurer Kalk	114,8	97,1

Bei den Gefäßen, welche den Kalk in kohlensaurer Form erhalten hatten, betrug die Wirkung des Ammoniakstickstoffs ca. 85 % der Salpeterwirkung, während dort, wo der Kalk in schwefelsaurer Form angewandt wurde, der Ertrag von 93,5 auf 26,2 g sank. Die Wirkung des Ammoniakstickstoffs betrug hier nur 28,2 % der Salpeterwirkung [2]).

Die ungenügende Wirkung des Ammoniakstickstoffs auf von Natur sauren Böden geht auch aus Versuchen von Wheeler, Tucker und Hartwell [3]) hervor. Es stellten sich unter fortgesetzter Anwendung von schwefelsaurem Ammoniak Mindererträge ein, die bei Salpeterdüngung nicht eintraten. Auch die von der Versuchsstation Posen ausgeführten Versuche ergaben eine mangelhafte Wirkung des schwefelsauren Ammoniaks auf sehr kalkarmen Böden.

Soll nun der Gips auf neutralen Böden, die einer Kalkzufuhr bedürfen, zur Düngung verwandt werden? Wir müssen diese Frage verneinen. Es ist zwar von Ulbricht [4]) festgestellt worden, daß geringe Mengen (300—400 kg pro Hektar) eine kleine Ertragssteigerung brachten; es wurde im Mittel bei acht verschiedenen Versuchspflanzen ein Mehrertrag von 2,03 g pro Gefäß erzielt. Aber wir können einer Anwendung von Gips auch in diesem Umfange nicht das Wort reden, da sich beständig Gips im Boden durch Anwendung von schwefelsaurem Ammoniak und Kalisalzen bildet.

Für Böden mit einem gewissen Gehalt an Alkalikarbonaten, wie solche besonders häufig in den niederschlagsarmen Regionen Kaliforniens

[1]) Landw. Jahrbücher 1901.

[2]) Die nachteilige Wirkung ist bei diesen Versuchen durch die Verwendung von Zinkgefäßen erhöht worden.

[3]) Jahresber. für Agrikulturchemie 1897.

[4]) Landw. Versuchsstationen, Bd. 52.

vorkommen, hat Hilgard[1]) mit Erfolg den Gips angewandt. Es wurden hierdurch neutrale schwefelsaure Alkalien und kohlensaurer Kalk im Boden gebildet.

Auch Strebel[2]) kommt zu dem Ergebnis, daß die Anwendung des Gipses in der Landwirtschaft keinerlei Bedeutung hat, da in den Betrieben, in denen künstlicher Dünger verwandt wird, genügende Mengen an Kalk und Schwefelsäure mit den künstlichen Düngemitteln in den Boden kommen.

Die Anwendung des Gipses als Düngemittel ist daher aus folgenden Gründen nicht ratsam:

1. Der Gips übt auf Böden mit saurer Reaktion eine nachteilige Wirkung auf das Pflanzenwachstum infolge Abspaltung von Schwefelsäure aus.

2. Der Gips ist nicht imstande, die freiwerdenden Säuren physiologisch saurer Düngemittel zu neutralisieren.

3. Der Gips ist nicht imstande, die chemisch-biologischen Vorgänge im Boden (Zersetzung der organischen Substanzen, Salpeterbildung, Stickstoffassimilation) in gleicher Weise zu fördern, wie der kohlensaure Kalk, besonders in bezug auf die Herstellung einer neutralen oder schwach alkalischen Bodenreaktion.

4. Der Gips wird infolge seiner größeren Wasserlöslichkeit leichter ausgewaschen als der kohlensaure Kalk.

b) Die schwefelsaure Magnesia und das Chlormagnesium.

Diese Salze finden sich in größeren Mengen in den rohen Kalisalzen. Es enthalten nach Stutzer:

	Schwefels. Magnesia %	Chlormagnesium %
Kainit	19,4	—
Karnallit	12,1	21,5
Bergkieserit	21,5	17,2
20 %iges Kalidüngesalz .	10,6	5,3
30 „ „ .	9,4	4,8
40 „ „ .	4,2	2,1
Schwefels. Kali-Magnesia	34,0	—

[1]) Natur, Wert und Nutzbarmachung der Alkalibödendistrikte. Chem. Zentralblatt 1901, I, 338.

[2]) Württ. landw. Wochenblatt 1892, 170.

Der Gehalt der rohen Kalisalze an Magnesia ist somit ein recht erheblicher und ist beim Kainit annähernd so hoch, beim Karnallit dagegen bedeutend höher als der Gehalt an Chlorkalium.

Wir hatten schon früher ausgeführt, daß bei den Versuchen über die Abhängigkeit des Maximalertrages von einem bestimmten Verhältnisse von Kalk zu Magnesia im Boden nur die schwefelsaure Magnesia zu Hafer eine gewisse Ertragssteigerung bewirkt hatte. Es wurde im Durchschnitt sämtlicher Versuche geerntet:

	Körner g	Stroh g
Ohne Magnesia	124,2	165,2
Schwefelsaure Magnesia	128,8	167,3

Diese zu Hafer erzielten Ergebnisse werden nun auch durch frühere, von der Versuchsstation Halle[1]) ausgeführte Versuche bestätigt. Aus diesen Versuchen ging hervor, daß gewisse lösliche Salze, wie Chlormagnesium und Chlornatrium vielfach einen günstigen Einfluß auf das Wachstum verschiedener Kulturpflanzen ausüben, während diese günstige Wirkung bei anderen Pflanzen nicht vorhanden war. Je ärmer ein Boden an Mineralstoffen und besonders an Kali ist, um so schärfer traten die Nebenwirkungen dieser Salze hervor. So wurden z. B. bei einem mit Hafer und Gerste in einem Sand-Torfgemisch ausgeführten Versuche folgende Erträge erzielt:

	Hafer		Gerste	
	Körner g	Stroh g	Körner g	Stroh g
Kalisalze allein	95,6	139,0	77,0	98,9
Kalisalze + Chlornatrium[2]) . .	122,8	158,6	102,9	119,8
Kalisalze + Chlormagnesium[3]) .	110,3	140,0	88,9	107,7

Sowohl durch Chlornatrium wie auch durch Chlormagnesium traten demnach nicht unbedeutende Ertragssteigerungen ein.

Weniger günstig wirkten diese Salze zu Luzerne und Senf. Es wurde geerntet:

	Luzerne g	Senf g	Mittel g
Ohne Kali	33,8	57,9	45,9
Chlornatrium[4])	41,8	40,2	41,0
Chlormagnesium[3]) . . .	35,9	31,1	33,5

[1]) Maercker, Arbeiten der D. L. G., Heft 56 und Jahrbuch der Versuchsstation Halle 1895.

[2]) Entsprechend 3,5 dz Chlor pro Hektar.

[3]) Äquiv. Mengen von Chlor wie im Chlornatrium.

[4]) Entsprechend 5 dz Chlor pro Hektar.

Trotzdem eine Kalidüngung nicht erfolgt war, wodurch die Wirkung der Nebensalze bekanntlich gesteigert wird, hatten beide Salze zu Luzerne nur einen unbedeutenden Mehrertrag, bei Senf dagegen eine Ertragserniedrigung hervorgerufen.

Auch bei Zuckerrüben und Kartoffeln zeigten diese Salze keine günstige Wirkung, wie aus folgenden Versuchen hervorgeht:

	Zuckerrüben		
	Wurzeln		Kraut
	frisch	trocken	trocken
	g	g	g
Schwefels. Kalium	2084	454,3	208,4
„ „ + Chlornatrium, kleine Gabe [1])	2199	506,0	265,0
„ „ + „ große „ [2])	2038	472,8	246,7
„ „ + Chlormagnesium, kleine Gabe [1])	1928	447,4	267,6
„ „ + „ große „ [2])	2041	500,2	314,2

	Kartoffeln (frisch)
	g
Schwefels. Kalium	651,2
„ „ + Chlornatrium [3]) . . .	493,5
„ „ + Chlormagnesium [4]) . .	490,7

Beide Salze hatten die Erträge somit verringert.

Ein mit Futterrüben ausgeführter Versuch hatte folgendes Ergebnis [5]):

	Wurzeln		Kraut
	frisch	trocken	trocken
	g	g	g
Kiesels. Kali.	2869,4	348,7	154,1
„ „ + Chlornatrium . .	4279,4	456,1	191,2
„ „ + schwefels. Natrium .	3830,8	432,5	153,9
„ „ + Chlormagnesium .	2317,8	278,3	196,7
„ „ + schwefels. Magnesia	2851,8	354,4	164,0

Eine günstige Wirkung hatten nur die Natron-, nicht dagegen die Magnesiasalze gezeigt.

Derartig günstige Ergebnisse, wie mit Hafer nnd Gerste in dem nährstoffarmen Sand-Torfgemische erzielt wurden, werden nun bei natürlichen Böden im allgemeinen nicht erreicht. Es geht dies aus

[1]) Entsprechend 5 dz pro Hektar.

[2]) Entsprechend 10 dz pro Hektar.

[3]) Entsprechend 3,5 dz Chlor pro Hektar.

[4]) Äquiv. Mengen von Chlor wie im Chlornatrium.

[5]) Schneidewind, Landw. Jahrbücher 1910 und Arb. der Versuchsstation Halle III

weiteren, vom Verfasser[1]) ausgeführten Versuchen hervor. So wurde z. B. mit Hafer auf einem sandigen Lehmboden geerntet:

	Hafer Körner g	Hafer Stroh g
Ohne Magnesia	143,3	215,0
Schwefelsaure Magnesia	153,5	211,2

Bei einem etwas geringeren Strohertrage trat dagegen ein deutlich höherer Kornertrag ein.

Bei Senf, Rotklee und Kartoffeln trat auch hier keine günstige Wirkung ein.

	Senf trocken g	Rotklee trocken g	Mittel von Senf u. Klee g	Kartoffeln frisch g
Ohne Magnesia	104,2	129,1	116,7	2165,5
Schwefelsaure Magnesia	108,3	124,3	116,3	2125,8

Bei Senf und Rotklee wurde im Mittel durch die Magnesiadüngung eine Ertragserhöhung nicht erzielt, während bei der Kartoffel die schwefelsaure Magnesia den Ertrag sowohl an frischer wie auch an Trockensubstanz erniedrigt hatte.

Diese, bei Vegetationsversuchen erzielten Ergebnisse werden nun auch durch langjährige Feldversuche in Rothamsted[2]) bestätigt.

Tabelle III.

Weizenversuch in Rothamsted.

	1852—1872 Ertrag		1873—1893 Ertrag		1852—1893 Ertrag		1892 Ertrag	
	Körner dz	Stroh dz	Körner dz	Stroh dz	Körner dz	Stroh dz	Körner dz	Stroh dz
Stickstoff + Phosphorsäure	17,97	33,28	13,59	24,65	15,78	26,97	9,90	19,64
Stickstoff + Phosphorsäure + 224 kg schwefels. Kali	22,59	42,55	19,60	35,65	21,10	39,10	19,70	32,66
Stickstoff + Phosphorsäure + 410 kg schwefelsaures Natron	22,32	40,67	17,59	30,93	19,96	35,80	15,67	24,81
Stickstoff + Phosphorsäure + 364 kg schwefelsaure Magnesia	22,47	41,29	18,42	32,66	20,60	36,98	15,80	26,75
durch schwefels. Kali + .	4,62	9,27	6,01	11,00	5,32	12,13	9,80	13,02
durch schwefels. Natron +	4,35	7,39	4,00	6,28	4,18	8,83	5,77	5,17
durch schwefelsaure Magnesia + ...	4,50	8,01	4,83	8,01	4,82	10,01	5,90	7,11

[1]) Schneidewind, Landw. Jahrbücher 1910 und Arb. der Versuchsstation Halle III.

[2]) Vieler, Die Rothamsteder Versuche nach dem Stande des Jahres 1894. Berlin 1896.

Da die mit Natron- und Magnesiasalzen gedüngten Parzellen in der dem eigentlichen Versuche vorhergehenden Periode von 1844—1851 eine jährliche Kalidüngung erhalten haben, so sind infolge der Kalinachwirkung in der ersten Periode die Erträge auf sämtlichen Parzellen fast gleich hoch. Entsprechend der allmählichen Erschöpfung des Bodens an aufnehmbarem Kali hat in der zweiten Periode von 1873—1893 wie auch im Jahre 1892 zwar die mit Kali gedüngte Parzelle einen höheren Ertrag gegeben, doch zeigte sowohl die schwefelsaure Magnesia wie auch das schwefelsaure Natron eine sehr günstige Wirkung. Dieselbe mußte naturgemäß höher sein, als wenn die Natron- und Magnesiasalze neben einer Kalidüngung verabreicht worden wären. Da der Boden des Weizenversuchsfeldes (Broadbalkfield) nach Hall[1]) 2,49 % Kalk und 0,36 % Magnesia enthält, so hat weder ein direktes Magnesia- noch ein Kalkbedürfnis vorgelegen. Die Magnesia- und Natronsalze haben auf den Ertrag sehr günstig gewirkt, da der Boden ein ausgesprochenes Kalibedürfnis zeigte und beide Salze bei Kalimangel eine sehr günstige Wirkung auf das Wachstum von Getreide ausüben.

Auch bei den von Wheeler und Hartwell[2]) ausgeführten Versuchen sind bei Gegenwart von so viel Kalk, daß dadurch irgendwelcher Schaden durch saure Reaktion verhindert wurde, durch Magnesiasalze günstige Wirkungen erzielt worden.

Wir haben nun weiter bei den von Rigaux[3]) in Belgien ausgeführten Versuchen gesehen, daß die schwefelsaure Magnesia nicht nur bei Getreide, sondern auch bei sämtlichen übrigen Früchten (Zuckerrüben, Futterrüben und Kartoffeln) eine sehr erhebliche Ertragssteigerung bewirkt hatte. Hier lag, wie schon ausgeführt, ein direkter Mangel an Magnesia im Boden vor. Bei genügendem Kalkgehalt und für die Ernährung ausreichenden Magnesiamengen wirken lösliche Magnesiasalze ebenso wie die Natronsalze zu Getreide günstig, nicht dagegen bei Futterrüben, wo die Natronsalze eine außerordentlich günstige Wirkung zeigen.

Wie wirken nun das Chlormagnesium und die schwefelsaure Magnesia gegenüber der kohlensauren und gebrannten Magnesia bei vorhandenem Kalkmangel? Wir haben gesehen, daß die letzteren den Kalk bei kalkbedürftigen Böden bis zu einem gewissen Grade ersetzen können. Ist dies nun auch bei den löslichen Magnesiasalzen möglich?

[1]) Jahresber. für Agrikulturchemie 1905.

[2]) Magnesia als Dünger. Jahresber. für Agrikulturchemie 1906.

[3]) A. a. O. S. 16 u. 17.

Die hierüber vom Verfasser[1]) mit Rotklee, Senf und Hafer auf einem sandigen Lehmboden[2]) ausgeführten Versuche führten zu folgenden Ergebnissen:

	Rotklee trocken	Senf trocken	Senf (Nachw.) trocken	Mittel
	g	g	g	g
Ohne Kalk und Magnesia	129,1	104,2	98,1	**110,5**
Kohlensaurer Kalk . . .	156,5	133,1	132,8	**140,8**
Kohlensaure Magnesia . .	163,6	155,5	133,2	**150,8**
Schwefelsaure Magnesia .	124,3	108,3	88,8	**107,1**

Bei sämtlichen Versuchen hatte somit die kohlensaure Magnesia den Kalk in der Wirkung noch übertroffen, während die schwefelsaure Magnesia eine günstige Wirkung nicht zeigte. Ein anderes Verhalten zeigte dagegen der Hafer. Es wurde geerntet:

	Hafer	
	Körner	Stroh
	g	g
Ohne Kalk und Magnesia . . .	143,3	215,0
Kohlensaurer Kalk	143,7	206,1
Kohlensaure Magnesia	154,8	206,6
Schwefelsaure Magnesia	153,5	211,2

Wie aus den Zahlen hervorgeht, hatte bei diesem Versuche, wo eine Kalkwirkung nicht vorhanden war, die schwefelsaure wie auch die kohlensaure Magnesia (letztere infolge ihrer außerordentlich feinen Beschaffenheit) auf den Körnerertrag günstig eingewirkt, wohingegen durch die kohlensaure Magnesia der Strohertrag mehr als durch die schwefelsaure Magnesia erniedrigt worden war.

Dasselbe Ergebnis wie mit Senf und Rotklee zeigte nun auch der Versuch mit Kartoffeln. Es wurde geerntet:

	Knollen	
	frisch	trocken
	g	g
Ohne Kalk und Magnesia . . .	2165,5	549,0
Kohlensaurer Kalk	2217,2	571,4
Kohlensaure Magnesia	2464,2	592,9
Schwefelsaure Magnesia . . .	2125,8	491,5

Durch die schwefelsaure Magnesia war der Ertrag sowohl an frischer wie auch an Trockensubstanz erniedrigt worden, während die kohlen-

[1]) Landw. Jahrbücher 1910 und Arbeiten der Versuchsstation Halle III.

[2]) Mit einem Säuregehalt von 0,05 %.

saure Magnesia eine deutliche, wenn auch nicht sehr erhebliche Ertragssteigerung hervorgerufen hatte.

Fassen wir die Ergebnisse noch einmal kurz zusammen:

1. Die löslichen Magnesiasalze, wie das Chlormagnesium und die schwefelsaure Magnesia, zeigen bei ausreichenden Kalk- und Magnesiamengen im Boden nur zu Getreide eine günstige Wirkung. Dieselbe ist um so größer, je größer das Kalibedürfnis des Bodens und je ärmer derselbe im allgemeinen an aufnehmbaren Mineralstoffen ist.

2. Das Chlormagnesium und die schwefelsaure Magnesia können nicht wie die kohlensaure und gebrannte Magnesia auf kalkbedürftigen Böden den Kalk in seiner Wirkung ersetzen.

Der Einfluß der Gipses auf die Wirksamkeit der Knochenmehlphosphorsäure.

Wir hatten im vorhergehenden Abschnitt gesehen, daß bei größeren Gaben von kohlensaurem Kalk auf Böden, bei denen eine direkte Kalkwirkung nicht vorhanden war, eine Verminderung der Wirksamkeit der Knochenmehlphosphorsäure eintrat. Es ist nun von Interesse, wie sich nach dieser Richtung der Gips verhält.

Über die Wirkung des Knochenmehls bei gleichzeitiger Anwendung von Gips liegen Untersuchungen von Schneidewind[1]) bei Vegetations und Feldversuchen vor.

	Vegetationsversuche		
	Sandboden Ernte	Lehmboden Ernte	Sandboden Ernte
	g	g	g
Ohne Phosphorsäure.	142,75	151,61	133,33
Knochenmehl	148,90	175,70	181,58
Knochenmehl + Gips.	151,85	181,83	184,03

Eine erheblich bessere Wirkung trat durch die Gipsdüngung bei diesen Versuchen nicht ein.

Der Feldversuch wurde mit Winterroggen auf einem Sandboden ausgeführt. Es gelangten 50 kg Phosphorsäure und 10 dz Gips pro Hektar zur Anwendung. Es wurde geerntet:

---

[1]) Das landw. Versuchswesen für das Jahr 1897. Landw. Jahrbücher 1899. Ergänzungsband.

	Feldversuche	
	Körner dz	Stroh dz
Ohne Phosphorsäure	24,30	21,60
Knochenmehl	23,30	21,00
Thomasmehl	29,30	26,80
Knochenmehl + Gips	30,90	25,70
Thomasmehl + Gips	29,60	25,90
Gips allein	26,20	21,80

Die Knochenmehlwirkung wurde durch die Gipsdüngung somit nicht unbedeutend gesteigert.

Aus Versuchen, die Katayama[1]) ausführte, ergab sich ebenfalls, daß die Phosphorsäure des Knochenmehls durch Gips nicht ungünstig beeinflußt wurde, während die gleichen Mengen Kalk als Karbonat sehr schädigten. Schwefelsaure Magnesia wirkte dagegen nicht günstig. Eine Einwirkung der Humussäuren konnte bei diesen Versuchen nicht stattfinden.

Aus den ausführlich dargelegten Gründen können wir aber dennoch einer Anwendung von Gips nicht das Wort reden. Wir werden, wenn eine ausreichende Wirkung des Knochenmehls nicht vorhanden ist, eben zu anderweitigen Phosphorsäuredüngemitteln greifen müssen. Sehr fördernd wirken, wie schon erwähnt, unter Umständen auf die Ausnutzung schwerlöslicher Phosphate physiologisch saure Düngemittel, wie die sehr eingehenden Untersuchungen von Prianischnikow[2]), Söderbaum[3]) und auch von v. Seelhorst[4]) ergeben haben, auf die hier aber nicht näher eingegangen werden kann. Auf Böden mit geringem Kalkgehalt kann es sich daher empfehlen, den Stickstoff in Form von schwefelsaurem Ammoniak anzuwenden.

4. Kalkhaltige Düngemittel als Rückstände von landwirtschaftlich technischen und industriellen Gewerben.

a) Der Scheideschlamm der Zuckerfabriken.

Da der Scheideschlamm in sehr wasserreichem Zustande gewonnen wird, so ist der Gehalt an wirksamen Kalkformen in erster Linie vom Wassergehalt abhängig. Nach Stutzer[5]) ist die Zusammensetzung des Scheideschlammes im Mittel folgende:

---

[1]) Jahresber. für Agrikulturchemie 1905.
[2]) Landw. Versuchsstationen, Bd. 56.
[3]) Landw. Versuchsstationen, Bd. 67.
[4]) Journal für Landwirtschaft, Bd. 51.
[5]) Mentzel und v. Lengerke, Landw. Kalender 1910.

	%
Wasser	43,3
Kalk (CaO)	21,6
Magnesia	0,3
Stickstoff	0,2
Phosphorsäure . . .	0,5
Kali	0,1

Außer Kalk enthält der Scheideschlamm somit auch noch gewisse Mengen der übrigen Pflanzennährstoffe, von denen besonders die Phosphorsäure und das Kali bei der Wertberechnung zu berücksichtigen sind. Infolge des hohen Wassergehaltes ist eine Verfrachtung für weite Entfernungen natürlich ausgeschlossen. Der Scheideschlamm kommt in erster Linie für die leichteren und tätigen Mittelböden in Frage, wohingegen für schwere Lehm- und Tonböden, wenn es sich um die Verbesserung der physikalischen Eigenschaften handelt, der gebrannte Kalk den Vorzug verdient.

b) Rückstände der Azetylengasbereitung.

Nach Untersuchungen von Gerlach[1]) betrug die Zusammensetzung dieser Rückstände:

	%
Wasser	49,52
Kalkhydrat	40,69
Kohlensaurer Kalk . .	7,33

Der Gehalt an Gesamtkalk (CaO) betrug 34,89 %. Die mit diesem Düngemittel von Gerlach ausgeführten Versuche führten zu folgenden Resultaten:

1. Besondere, dem Pflanzenwuchs schädliche Bestandteile enthalten die Calciumcarbidrückstände nicht.

2. Sie wirken ähnlich dem Ätzkalk und können an Stelle desselben unter Anwendung gleicher Kalkmengen in der Landwirtschaft benutzt werden.

3. Frische und stärkere Düngungen mit Calciumcarbidrückständen wirken ebenso wie solche mit Ätzkalk schädlich auf die Entwickelung mancher Pflanzen, besonders der Zuckerrüben, Möhren und einiger Leguminosen, dagegen scheinen Roggen, Gerste und wahrscheinlich auch Weizen, Hafer und Kartoffeln, Senf und Buchweizen gegen sie unempfindlich zu sein. Es empfiehlt sich daher, die Calciumcarbidrückstände ebenso wie auch den Ätzkalk nicht erst kurz vor dem Drillen

---

[1]) Über die Verwendbarkeit der Calciumcarbidrückstände in der Landwirtschaft. Fühlings landw. Zeitung 1902.

der erstgenannten Pflanzen, sondern einige Monate früher auszustreuen und unterzubringen oder dieselben nur zu den letzterwähnten Pflanzen anzuwenden.

c) Rückstände der Pottaschefabrikation.

Die Zusammensetzung dieses Düngemittels war nach Untersuchungen von Baeßler[1]):

	%
Wasser	45,96
Kohlensaurer Kalk	41,80
Ätzkalk	0,33
Gips	7,71
Kali	4,20

Dieses Düngemittel enthält also neben 26,2 % Kalk (CaO) nicht unbedeutende Mengen von Kali. Über die Anwendung desselben dürfte das bei dem Scheideschlamm Gesagte gelten.

d) Rückstände der Sodafabrikation.

Ein Abfallprodukt dieses Industriezweiges bildet der sogenannte Bernburger Düngekalk der Solvay-Werke bei Bernburg. Die Zusammensetzung desselben ist nach Untersuchungen von Immendorff folgende:

	In der frischen Substanz %	In der Trockensubstanz %
Wasser	40,54	—
Kalkhydrat	6,38	10,73
Kohlensaurer Kalk	14,39	24,40
Kieselsaurer Kalk	18,80	31,62
Kohlensaure Magnesia	5,12	8,61
Schwefelsaurer Kalk	3,40	5,71
Tonerde	3,79	6,37
Eisenoxyd	1,85	3,11
Chloride	0,89	1,50
Sand, Kohle usw.	4,84	8,15

Der Kalk- und Magnesiagehalt, ausschließlich des Gipses aber einschließlich des kieselsauren Kalkes, beträgt 25,36 % in der frischen und 42,65 % in der Trockensubstanz. Eine von der Versuchsstation Halle ausgeführte Analyse ergab 28,64 % Gesamtkalk und abzüglich des mittleren Gehaltes an Gips 27,24 % Kalk. Der Vorteil dieses Dünge-

[1]) Das landw. Versuchswesen für das Jahr 1895. Landw. Jahrbücher. 1897. Ergänzungsband.

mittels gegenüber den vorhergehenden besteht darin, daß dasselbe als feines, streubares Pulver in den Handel kommt und durch seine außerordentlich feine Beschaffenheit eine innige Mischung mit dem Boden gestattet. Ob der hierin enthaltene kieselsaure Kalk zu den wirksamen Kalkverbindungen zu rechnen ist, darüber gehen die Ansichten noch auseinander. Immendorff kommt auf Grund der leichten Zersetzbarkeit desselben in verdünnten Säuren zu dem Ergebnis, daß der kieselsaure Kalk, der teilweise in Form von Doppelsilikaten vorhanden ist, zu den wirksamen Kalkverbindungen gerechnet werden muß. Dieser Ansicht möchte sich auch der Verfasser anschließen. Nach den vom Verfasser ausgeführten Untersuchungen ist der gesamte Kalk in Chlorammonium löslich, wie folgende Zahlen zeigen:

	Kalk %	Magnesia %
In Salzsäure löslich	32,80	3,12
In Chlorammonium löslich (3 Stunden auf dem Wasserbade)	28,95	2,46
In Chlorammonium löslich (1/2 Stunde gekocht)	32,80	3,13

Zementartige Verhärtungen sind nach den Untersuchungen von Immendorff und Krüger nicht zu befürchten. Auch nachteilige Wirkungen haben sich bei größeren Gaben nach Versuchen von Römer nicht bemerkbar gemacht. Wo es sich nicht um die Verbesserung der mechanischen Bodenbeschaffenheit handelt, also auf allen leichteren und Mittelböden wird der Bernburger Düngekalk daher mit Vorteil anzuwenden sein. Über die Preiswürdigkeit lassen sich nur im Vergleich mit anderen Kalk- bzw. Mergelarten besondere Kalkulationen frei Verwendungsort machen.

e) Kalkhaltige Düngemittel, die in erster Linie der übrigen Nährstoffe wegen zur Anwendung kommen.

Hierzu gehören das Thomasmehl, das Superphosphat, das Knochenmehl, der Kalkstickstoff und der Kalksalpeter. Nach früheren Versuchen des Verfassers enthält das Thomasmehl den Kalk in recht wirksamer Form. Es wurde hierdurch das Wachstum der Leguminosen in einem Kleegrasgemisch sehr günstig beeinflußt. Durch die regelmäßige Anwendung von Thomasmehl werden den leichten Böden und besonders auch den kalkarmen Hochmoorböden nicht unbedeutende Kalkmengen zugeführt. Auch durch den Kalkstickstoff und den Kalksalpeter erhält der Boden gewisse Mengen an wirksamen Kalkverbindungen. Für den Hochmoorboden kommen sodann noch gewisse Rohphosphate auch bezüglich ihres Kalkgehaltes in Frage.

H. Die Anwendung der kalk- und magnesiahaltigen Düngemittel in der Praxis.

In diesem Abschnitte wollen wir nun noch eine Reihe von Gesichtspunkten betrachten, welche sämtlich die Frage der Verwendung kalk- und magnesiahaltiger Düngemittel in der Praxis betreffen. Wir haben zwar in den vorhergehenden Abschnitten die hauptsächlichsten Fragen der Kalk- und Magnesiadüngung ausführlich dargelegt, haben aber nicht in allen Fällen die unmittelbaren praktischen Schlußfolgerungen daraus gezogen. Dies soll nun im nachfolgenden geschehen.

1. In welcher Form sollen die verschiedenen kalk- und magnesiahaltigen Düngemittel auf den verschiedenen Böden angewandt werden?

In dem Abschnitte über den Einfluß des Kalkes auf die physikalischen, chemischen und chemisch-biologischen Eigenschaften des Bodens ist ausgeführt worden, daß sich der kohlensaure und gebrannte Kalk im Boden nicht gleich verhalten. Der letztere bewirkt vielmehr eine intensivere Zersetzung der organischen Stoffe des Bodens und des Bodenstickstoffes. Es kann daher bei denjenigen Böden, welche schon von Natur aus eine zu weitgehende Zersetzung der Humusstoffe zeigen, durch größere Gaben von gebranntem Kalk geradezu eine Verarmung an Humus eintreten, besonders wenn nicht durch Zuführung organischer Stoffe, sei es durch Gründüngung oder Stallmist, ein entsprechender Ersatz stattfindet. Auf solchen humusarmen, tätigen, leichten Böden vermeide man daher größere Ätzkalkgaben oder besser noch den Ätzkalk überhaupt und verwende den kohlensauren Kalk in seinen verschiedenen Formen.

Umgekehrt sind nun Böden, die ihrer ganzen physikalischen Beschaffenheit nach als untätig, träge bezeichnet werden müssen, in denen alle Umsetzungen zu langsam verlaufen, für höhere Ätzkalkgaben sehr dankbar. Infolge der viel feineren Beschaffenheit des gebrannten Kalkes läßt sich außer der intensiveren Wirkung auf alle Bodenbestandteile eine viel feinere Verteilung im Boden bewirken, vorausgesetzt, daß der Boden selbst derartig beschaffen, daß eine innige Mischung mit demselben möglich ist.

Für Böden, die in ihrer mechanischen Beschaffenheit zwar auch noch eine gewisse Verbesserung bedürfen, aber sonst als gute, tätige Mittelböden zu bezeichnen sind, kann es vorteilhaft sein, bei Anwendung größerer Kalkmengen eine Mischung aus gebranntem und kohlensaurem

Kalk zu wählen, wie sie verschiedene Kalkwerke in den Handel bringen. Da die Wirkung des kohlensauren Kalkes um so besser ist, eine je feinere Beschaffenheit derselbe besitzt, so muß die Ermittelung der Korngrößen bei Verwendung gemahlenen Kalksteins oder Mergels als sehr zweckmäßig und notwendig bezeichnet werden. Auch die Beschaffenheit des Materials selbst ist hierbei von Bedeutung. Gröbere Bestandteile von gemahlenem Kalkstein werden eine geringere Wirkung zeigen als solche eines mehr weichen, erdigen, leicht zu zerbröckelnden Materials, wie wir es in vielen Mergeln und Wiesenkalken haben.

Auf S. 67 ist ferner dargelegt worden, daß die in den dolomitischen gebrannten Kalken enthaltene Magnesia in ihrer Wirkung den Kalk nicht nur in bezug auf den Boden, sondern auch auf das Pflanzenwachstum bis zu einem gewissen Grade ersetzen kann, und daß daher die Magnesia dem Kalk gleichwertig zu erachten ist. Die gebrannten dolomitischen Kalke behalten ihre alkalische Reaktion und damit auch ihre ätzenden Eigenschaften länger bei als die gebrannten Kalke. Auf sehr leichten, an tonigen Bestandteilen armen Böden ist daher gewisse Vorsicht in der Anwendung dieser Kalke geboten. Da aber schon hervorgehoben wurde, daß derartige Böden möglichst überhaupt nicht mit gebranntem Kalk gedüngt werden sollten, so wird diese Vorsichtsmaßregel hier auch kaum zur Anwendung kommen.

Bezüglich der Anwendung des Gipses hatten wir gesehen, daß demselben als kalkhaltiges Düngemittel nicht die Eigenschaften des kohlensauren Kalkes zukommen und daß daher von einer Verwendung desselben zweckmäßig überhaupt abzusehen ist. Der Gips ist zwar befähigt, den Pflanzen als Nährstoff zu dienen, aber die vielseitigen Aufgaben, die der Kalk in bezug auf die physikalischen, chemischen und chemisch-biologischen Vorgänge im Boden zu erfüllen hat, können vom Gips nicht übernommen werden. Dazu kommt, daß durch jede Düngung mit schwefelsaurem Ammoniak und bis zu einem gewissen Grade auch mit rohen Kalisalzen sich Gips im Boden bildet und somit durch die Düngung nicht mehr besonders zugeführt zu werden braucht.

Die schwefelsaure Magnesia und das Chlormagnesium üben, wie ausführlich dargelegt wurde, nur auf das Getreide eine gewisse günstige Wirkung, ähnlich der der Natronsalze, aus. Wir werden daher auf denjenigen Böden, die durch Anwendung größerer Salzgaben in ihrer mechanischen Beschaffenheit nicht verschlechtert werden, die Kalirohsalze zur Anwendung bringen. Da wir hierdurch auch gleichzeitig größere Natronmengen dem Boden zuführen, so erfolgt die Anwendung der rohen Kalisalze zweckmäßig zu allen Früchten, die auch für die Natronsalze dankbar sind. Außer dem Getreide betrifft dies in erster Linie die Futterrüben.

Bei einem etwaigen Magnesiamangel im Boden wird man, wenn dolomitische Kalke preiswert zur Verfügung stehen, am zweckmäßigsten zu diesen greifen. Sind dieselben nur in Form gebrannter Kalke zu haben und kommen für die Magnesiadüngung sehr leichte Böden in Frage, so kann es sich als vorteilhafter erweisen, die Magnesia in Form löslicher Salze, wie sie in den Kalirohsalzen enthalten sind, zu geben, in welchem sie außerdem der Landwirtschaft gratis geliefert werden.

2. Wie hoch soll die Kalkdüngung bemessen werden?

Die Höhe der Kalkdüngung ist abhängig zu machen von dem Kalkgehalte des Bodens, der Bodenbeschaffenheit als solcher und den in einer bestimmten Fruchtfolge zum Anbau kommenden Früchten. Sehr kalkarme Böden verlangen eine größere Kalkdüngung als solche, die nicht eine so ausgesprochene Kalkarmut zeigen. Kommt hierzu noch ein größerer Gehalt an sauren Humusverbindungen bzw. sauren Silikaten, so wird die Kalkung höher zu bemessen sein als bei neutraler Bodenreaktion. Für den schweren Boden kommt es nicht allein, wie wir gesehen haben, auf den Kalkgehalt und die Azidität an, sondern unter Umständen auch auf den Kohlensäuregehalt. Ist der Boden an Karbonaten völlig verarmt, und zeigt derselbe außerdem noch einen ausgesprochenen sauren Charakter, so wird die Kalkdüngung, auch wenn der Kalkgehalt durchaus kein niedriger ist, ebenfalls höher zu bemessen sein als bei neutralen Böden und solchen, die noch einen gewissen Gehalt an Karbonaten besitzen, da in erster Linie der in dieser Form vorhandene Kalk günstig auf die mechanische Beschaffenheit einwirkt.

Wird in der Fruchtfolge nur Getreide und Hackfrucht ohne Einschaltung von Leguminosen gebaut, so kann der Kalkgehalt im allgemeinen ein niedrigerer sein, als wenn die in bezug auf den Kalkgehalt durchweg höhere Ansprüche stellenden Futterpflanzen, wie Rotklee, Luzerne usw. gebaut werden sollen. Für den Anbau der Zuckerrüben ist ebenfalls ein guter Kalkgehalt erforderlich, da sich zeitig reifende, zuckerreiche Rüben mit Vorteil nur auf Böden in guter Kultur erzielen lassen.

Da nach unseren früheren Ausführungen der in Chlorammonium lösliche Kalkgehalt im allgemeinen nicht unter 0,2 % betragen sollte, so wird bei solchen Böden, die eine ausgesprochene Kalkarmut zeigen, die Kalkung relativ hoch bemessen werden müssen. Wie aus Tabelle IV, die dem Heinrichschen Buche (Mergel und Mergeln) entnommen worden ist, hervorgeht, werden bei einer Anreicherung des Bodens um 0,1 % und 20 cm Tiefe pro Hektar 50 dz kohlensaurer Kalk (90 % $CaCO_3$) bzw. 26 dz gebrannter Kalk, bei einer Anreicherung um 0,2 % 100 dz

Tabelle IV.

Der für 1 ha nötige Bedarf an kalkhaltigen Materialien (Mergel, Düngekalk, gebrannter Kalk usw.).

Zur Anreicherung des Bodens an Kalk (Ca O) um	Bei Krumentiefe in cm	Bedarf es für 1 ha der Zufuhr von Kalk (Ca O) in kg	Diese sind enthalten bei einem Gehalt der Substanzen an kohlensaurem Kalk in Prozent																	
			20	30	40	50	60	70	80	90	100	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			oder bei einem Gehalt der Substanzen an Kalk (Calciumoxyd) in Prozent																	
			11,2	16,8	22,4	28,0	33,6	39,2	44,8	50,4	56,0	60	65	70	75	80	85	90	95	100
			in Doppelzentner																	
0,05 %	15	938	84	55	42	33	28	24	21	19	17	16	15	14	13	12	11	10	10	9
	20	1250	113	75	57	45	38	32	29	25	23	21	19	18	17	16	15	14	13	13
	25	1563	140	93	70	56	47	40	35	31	28	26	24	23	21	20	19	17	16	16
	30	1875	168	112	84	67	56	48	42	38	34	31	29	27	25	24	22	21	20	19
0,1 %	15	1875	168	110	84	66	56	48	42	37	33	31	29	27	25	23	22	20	19	19
	20	2500	225	150	113	90	75	64	57	50	45	42	38	36	33	31	29	28	26	25
	25	3125	280	186	140	112	93	80	70	62	56	52	48	45	42	39	37	34	33	31
	30	3750	335	224	168	134	112	96	84	75	67	63	58	54	50	47	44	42	39	38
0,15 %	15	2813	250	167	125	100	84	72	63	56	50	47	44	40	38	35	33	32	30	28
	20	3750	335	235	168	134	118	96	84	79	67	63	58	54	50	47	44	42	40	38
	25	4688	420	280	210	168	140	120	105	94	84	78	72	67	63	58	55	52	50	47
	30	5625	503	335	252	201	168	144	126	112	101	94	85	84	75	72	66	63	59	56
0,2 %	15	3750	335	224	168	134	112	96	84	75	67	63	58	54	50	47	44	42	39	38
	20	5000	445	296	223	178	148	128	112	99	89	83	77	71	67	63	59	56	53	50
	25	6250	555	370	278	222	185	160	139	123	111	104	96	89	83	78	73	69	66	63
	30	7500	670	448	335	268	224	192	168	150	134	125	115	107	100	94	88	83	79	75

kohlensaurer Kalk bzw. 53 dz gebrannter Kalk zur Verwendung kommen müssen.

Ist der Kalkgehalt nicht abnorm niedrig, und handelt es sich in erster Linie darum, den Säuregehalt des Bodens zu beseitigen, so läßt sich aus dem Gehalte desselben die hierzu notwendige Kalkmenge sehr leicht ermitteln. Bei einem Gehalte von 0,05 % sauren Bestandteilen, ausgedrückt in Kohlensäure, würden pro Hektar 32 dz 90 %iger kohlensaurer Kalk oder 16 dz 95 %iger Ätzkalk notwendig sein. Ist der Säuregehalt größer als das Kalkbedürfnis, so lege man für die Höhe der Düngung diesen zugrunde; ist dagegen das Kalkbedürfnis größer als der Säuregehalt, so lege man den Kalkgehalt zugrunde.

Eine derartig hohe Kalkdüngung, wie wir sie vorhin mit 100 dz kohlensaurem Kalk anführten, wird nur in den seltensten Fällen zur Anwendung kommen. Sie wird auch bei sehr kalkarmen Böden nicht unbedingt notwendig sein. Man begnügt sich in der Regel mit geringeren Gaben bei öfterer Wiederholung. Dies wird auch besonders dann zu empfehlen sein, wenn zunächst einmal sämtliche Ackerflächen gekalkt werden sollen. Als mittlere Gaben können 45—50 dz kohlensaurer oder 20—25 dz gebrannter Kalk angesehen werden. Sehr geringe Mengen von Kalk (6—8 dz) anzuwenden, wie vielfach empfohlen, ist meines Erachtens eine verkehrte Maßnahme; es wird hierdurch der eigentliche Zweck der Kalkung in vielen Fällen nicht erreicht. Besonders bei der ersten Kalkung wähle man größere Mengen. Auch für die Düngung der Wiesen und Weiden ist es nicht zweckmäßig die Gaben zu klein zu wählen, da eine innige Mischung mit dem Boden hier nicht möglich ist. Aus diesem Grunde wird es sich vielfach empfehlen, bei Wiesen und Weiden ein Gemisch von Ätzkalk mit kohlensaurem Kalk anzuwenden, besonders wenn der Boden eine saure Beschaffenheit aufweist. Der kohlensaure Kalk wirkt hier zu langsam und dringt nicht schnell genug in den Boden ein. Auch diesen verwende man in möglichst feiner Mahlung (eventuell präzipitierten kohlensauren Kalk).

Wird die Kalkdüngung in erster Linie zu dem Zwecke einer mechanischen Bodenverbesserung ausgeführt, so bemesse man die Kalkgabe nicht zu niedrig. Für schwere, sehr schlecht zu bearbeitende Böden können unter Umständen 70—80 dz Ätzkalk angebracht sein. Unter mittleren Verhältnissen werden 40—50 dz und für mechanisch günstigere Böden 30—40 dz zweckmäßig sein.

Bezüglich der dem Hochmoor zweckmäßig zuzuführenden Kalkmengen kann nach Tacke[1]) die erste Kalkgabe, welche meistens 30—40 dz betrug,

[1]) Das landw. Versuchswesen für das Jahr 1900. Landw. Jahrbücher 1903, Ergänzungsband.

ermäßigt werden, falls nicht in den ersten Jahren Leguminosen gebaut werden sollen. Es zeigt dies folgender, auf nicht gekalktem Boden ausgeführter Versuch:

	Hafer Körner dz	Hafer Stroh dz
Phosphorsäure als Kaliphosphat ohne Kalk . . .	0,73	3,13
„ „ Thomasmehl „ „ . . .	24,76	36,09
„ „ „ + 1000 kg Kalk .	32,62	44,81
„ „ „ + 2000 „ „ .	32,31	44,43
„ „ „ + 3000 „ „ .	31,51	44,66
„ „ Kaliphosphat + 3000 „ „ .	30,31	46,98

Es geht aus diesen Zahlen hervor, daß durch die bei den mehrmaligen Düngungen mit Thomasmehl zugeführten Kalkmengen ansehnliche Erträge erzielt wurden. Die Düngung mit 1000 kg wirksamem Kalk außer den in dem Thomasmehl zugeführten Kalkmengen genügte im zweiten Jahre der Kultur, um bei Hafer einen Maximalertrag zu erzielen. Die Versuche bestätigen weiter, daß unter diesen Voraussetzungen eine Ermäßigung der Kalkdüngung auf 2000 kg wirksamen Kalk pro Hektar zweckmäßig ist. Die nach dieser Richtung hin erzielten Ergebnisse waren folgende:

1. Für Moorhafer und Roggen reicht eine mittlere Kalkgabe von 2000 kg pro Hektar aus. Bei stärkerer Kalkung war eine Schädigung der Erträge nicht immer zu vermeiden. Auch für Serradella genügen die geringeren Kalkungen. Für Hochmoorboden von mittlerer Beschaffenheit ist daher eine Kalkung von 2000 kg völlig ausreichend. Der Abgang von Kalk aus der Krume wird durch eine jährliche Kalkzufuhr in Form der kalkhaltigen Phosphorsäuredüngemittel ersetzt, so daß bei schwächerer Kalkung eine Nachkalkung nicht notwendig wird.

2. Das Kalkbedürfnis der Kartoffel erwies sich als sehr gering. Während vier Versuchsjahren in Form von Thomasmehl gegebene Mengen reichten völlig aus, und selbst auf einem niemals mit Kalk gedüngten Hochmoor ist eine annehmbare Kartoffelernte erzielt worden.

In den späteren Versuchsjahren waren auch bei Halmfrucht die Erträge am höchsten auf den Parzellen, welche niemals Kalk erhalten hatten. Die in dem Thomasmehl zugeführten Kalkmengen genügten offenbar dem Kalkbedürfnisse der auf Hochmoor gebauten Halmfrüchte, die bei stärkerer Kalkung trotz tiefer Bodenbearbeitung immer Rückschläge erlitten. Andererseits zeigte aber die völlige Mißernte bei Anwendung kalkfreier Düngemittel, daß Kalk erforderlich war.

3. Wie oft soll die Kalkdüngung wiederholt werden?

Wir hatten in Abschnitt A gesehen, daß die durch die verschiedenen Kulturpflanzen aufgenommenen Kalk- und Magnesiamengen sehr verschieden sind. So entnahm die Gerste dem Boden im Mittel nur 21,88 kg Kalk und 10,86 kg Magnesia pro Hektar, während durch die Luzerne die höchste Kalkmenge von 242,02 kg und durch die Zuckerrübe die höchste Magnesiamenge von 56,08 kg dem Boden entzogen wurde. So weit die kalkreichen Futtergewächse und das Stroh in der eigenen Wirtschaft zur Verfütterung kommen, werden dem Boden die durch die verschiedenen Früchte entnommenen Kalkmengen in der Hauptsache wieder zugeführt. Nur was in den Körnern der Getreidearten und Leguminosen, in den Rübenwurzeln und Kartoffeln, in der verkauften Milch und in den Knochen der Tiere ausgeführt wird, geht der Wirtschaft verloren. Wenn man aber weiter berücksichtigt, daß in den zugekauften Futtermitteln und besonders in den Düngemitteln, wie Knochenmehl, Thomasmehl, Superphosphat, Kalkstickstoff und Kalksalpeter nicht unbedeutende Mengen von Kalk dem Boden wieder zugeführt werden, so sollte man annehmen, daß nach einer gründlichen Kalkung der Boden für einen langen Zeitraum einen genügenden Vorrat an Kalk aufweisen müsse. Ist dies nun in der Tat der Fall? Keineswegs, denn eine Reihe von Faktoren wirken vermindernd auf den Kalkgehalt des Bodens ein, auf welche wir etwas näher eingehen müssen.

a) Der Einfluß der Niederschläge.

Es ist durch die vieljährigen Untersuchungen von Lawes und Gilbert festgestellt worden, daß dem Boden alljährlich eine nicht unbedeutende Kalkmenge durch Auswaschung verloren geht. Es ist bereits früher ausgeführt worden, daß der kohlensaure Kalk in reinem Wasser zwar nur in geringem Grade löslich ist, daß dagegen die Löslichkeit in kohlensäurehaltigem Wasser mit der Zunahme des Kohlensäuregehaltes steigt und eine recht erhebliche sein kann. Durch reichliche Niederschläge werden die im Boden in Form doppeltkohlensauren Kalkes gelösten Kalkmengen in tiefere Schichten geführt und gelangen hier entweder durch Ausscheiden von Kohlensäure wieder zur Ablagerung, oder sie werden mit dem Grundwasser fortgeführt. Auf alle Fälle gehen sie der Oberkrume aber verloren. Je nach der Natur des Bodens und den Niederschlagsmengen werden die hierdurch entstehenden Kalkverluste sehr verschieden sein. Nach Lawes und Gilbert betragen die Verluste 400—600 kg Kalk pro Hektar. Nehmen wir an, daß pro Hektar und Jahr 400 kg verloren gehen, so würde eine Kalkung

von 20 dz in fünf Jahren erschöpft sein. Wenn die Verluste vielleicht auch nicht in allen Fällen diese Höhe erreichen, so geht doch hieraus hervor, daß die Kalkung nach einem gewissen Zeitraume wiederholt werden muß.

b) Der Einfluß der Düngung.

Weiter ist nun auch die Art der Düngung von Einfluß auf den Kalkvorrat des Bodens. Es ist schon früher auf die Wichtigkeit einer neutralen oder schwach alkalischen Bodenreaktion hingewiesen und dabei hervorgehoben worden, daß auch für eine normale Wirkung der physiologisch sauren Düngemittel genügende Kalkmengen zur Bindung der frei werdenden Säuren vorhanden sein müssen. Die bei der Düngung mit schwefelsaurem Ammoniak entstehende Kalkverbindung — der Gips — zeigt nun eine erheblich größere Löslichkeit als der kohlensaure Kalk. Reichliche Niederschläge werden daher auch den Kalkvorrat eines häufig mit schwefelsaurem Ammoniak gedüngten Bodens stärker vermindern als bei anderen Düngemitteln. Wie erheblich die Wasserlöslichkeit des Kalkes bei Düngung mit schwefelsaurem Ammoniak zunimmt, geht aus den Untersuchungen von Krüger[1]) hervor. Es betrug der Gehalt an löslichem Kalk und löslicher Magnesia pro Gefäß:

	Versuch mit Kartoffeln		Versuch mit Futterrüben	
	Kalk	Magnesia	Kalk	Magnesia
	g	g	g	g
Ohne Stickstoff	0,82	0,24	1,03	0,33
0,5 g Stickstoff schwefels. Ammoniak	1,51	0,37	1,77	0,43
1,5 „ „ „ „	3,04	0,56	3,28	0,52
2,0 „ „ „ „	4,14	0,77	4,10	0,47
0,5 „ „ Natronsalpeter . .	0,49	0,07	0,86	0,30
1,5 „ „ „ . .	0,28	0,06	0,77	0,18
2,0 „ „ „ . .	0,27	0,07	0,70	0,13

Aus diesen Versuchen geht hervor, daß

1. die Düngung mit schwefelsaurem Ammoniak die Löslichkeit des Kalkes und der Magnesia erhöht;

2. die Düngung mit Salpeter die Löslichkeit derselben vermindert und zwar in je höherem Grade, je mehr das Natron desselben im Boden zurückbleibt. So ist bei den Kartoffeln, die nur geringe Mengen Natron aufnehmen, die Löslichkeit des Kalkes geringer als bei den Futterrüben.

[1]) Arbeiten der Versuchsstation Halle II und Landw. Jahrbücher 1906.

Daß die dauernde Anwendung des schwefelsauren Ammoniaks zu einer völligen Verarmung des Bodens an Kalk führt, geht aus den in Rothamsted und Woburn in England ausgeführten Versuchen hervor.

Weiter wirken nun auch die rohen Kalisalze, die einen erheblichen Gehalt an Magnesia- und Natronsalzen (Chlor- und schwefelsaure Salze) besitzen, vermehrend auf die Kalkverluste des Bodens ein. So waren nach den Untersuchungen des Verfassers[1]) die löslichen Kalkmengen pro Gefäß bei kalkreichen Lößlehmböden durch Düngung mit schwefelsaurer Magnesia, Chlormagnesium und Chlornatrium folgende:

	Lößlehmboden I (11,62 % Kalk) Kalk g	Lößlehmboden II (1,03 % Kalk) Kalk g
Ohne Zusatz	0,81	0,64
Schwefelsaure Magnesia . . .	11,10	11,10
Chlormagnesium	30,88	22,17
Chlornatrium	13,23	11,97

Die Löslichkeit des Kalkes hatte also durch die Düngung mit Magnesia- und Natronsalzen erheblich zugenommen. In ähnlicher Weise wirken auch die reinen Kalisalze.

Auch die Untersuchungen von Hall und Miller[2]) führten zu dem Ergebnis, daß der Kalkverlust durch Ammoniaksalz vergrößert, durch Salpeter dagegen verringert wird. Beim Wachstum der Pflanzen kehren neutrale Salze der Basen in den Boden zurück. Organische Kalksalze werden durch Bakterientätigkeit in kohlensauren Kalk übergeführt.

Unter Berücksichtigung dieser, den Kalkvorrat des Bodens vermindernden Einflüsse (der Niederschläge und der Düngung), haben wir also innerhalb eines gewissen Zeitraumes die Kalkung zu wiederholen. Ob dieselbe nach fünf, acht oder zehn Jahren zweckmäßig zu erfolgen hat, läßt sich natürlich im einzelnen nicht ohne weiteres sagen. Es ist Sache des betreffenden Landwirtes, durch kleine Versuche und eventuell auch durch eine chemische Untersuchung sich von der Notwendigkeit einer erneuten Kalkdüngung zu überzeugen. Es sollten keine unnötigen Kosten für Kalkdünger aufgewendet werden, aber auf der anderen Seite

---

[1]) Landw. Jahrbücher 1910 und Arbeiten der Versuchsstation Halle III.

[2]) Der Einfluß des Pflanzenwachstums und der Düngung auf die Zurückhaltung von Basen durch den Boden. Jahresbericht für Agrikulturchemie 1906.

ist auch dafür Sorge zu tragen, daß rechtzeitig eine Neukalkung vorgenommen wird, wenn sich eine solche als notwendig erweist.

Was den Hochmoorboden betrifft, so zeigten nach den Untersuchungen von Tacke Flächen, die vor zehn Jahren gekalkt waren, noch kein Kalkbedürfnis wieder. Von wesentlichem Einfluß war auch hier die Art der Düngung. Nach Tacke beläuft sich die Steigerung des Verlustes unter dem Einflusse der Düngung auf 100 kg Kalk pro Jahr und Hektar. Besonders steigert die Verwendung der Kalisalze dieselben. Für besandetes Niederungsmoor berechnet Tacke die Kalkverluste auf etwa 350 kg pro Jahr und Hektar.

Da durch die ständige Anwendung von solchen Düngemitteln, welche nicht unerhebliche Mengen an wirksamen Kalkverbindungen enthalten (Thomasmehl, Kalkstickstoff, Kalksalpeter), auch eine gewisse Zufuhr an Kalk stattfindet (siehe Versuche von Tacke auf Hochmoorboden S. 95), so kann die Notwendigkeit einer Neukalkung dadurch wesentlich hinausgeschoben werden.

4. Wie soll die Anwendung der verschiedenen kalk- und magnesiahaltigen Düngemittel erfolgen?

Es ist des öfteren bereits auf die Notwendigkeit hingewiesen worden, die kalk- und magnesiahaltigen Düngemittel möglichst gleichmäßig zu verteilen und gründlich mit dem Boden zu mischen. Auch die in Form fein gemahlener Produkte zur Anwendung gelangenden Mergel und Kalksteine werden am zweckmäßigsten mit einer Düngerstreumaschine gestreut. Es ist diese Art des Streuens dem Streuen mit der Hand, sei es, daß der Kalk in kleine Haufen vorher abgeladen oder vom Wagen direkt gestreut wird, vorzuziehen. Nach dem Streuen erfolgt zunächst zweckmäßig ein gründliches Eggen oder Krümmern, oder, wenn der Boden nicht die genügende Lockerheit besitzt, ein flaches Dreischaren und sodann ein gründliches Eggen oder Krümmern dieser Schicht und ein inniges Mischen mit den kalkhaltigen Düngemitteln.

Bei den gebrannten Kalken kann die Anwendung entweder in gemahlener Form, wie es neuerdings vielfach geschieht, oder in trocken gelöschter Form als Kalkhydrat erfolgen. Der Vorteil, ihn in gemahlener Form anzuwenden, liegt einmal darin, daß man unabhängig von den Witterungsverhältnissen jederzeit die Kalkung vornehmen kann, und daß sich der gemahlene Kalk mit der Düngerstreumaschine bequem streuen und dadurch gleichmäßig und gut verteilen läßt. Einen besonderen Vorteil, hauptsächlich für schwere Böden, glaubt man von verschiedenen Seiten darin erblicken zu sollen, daß die bei der Wasseraufnahme eintretende Wärmeentwicklung nicht schon vor der Ver-

wendung im Haufen stattfinde, sondern im Boden vor sich gehe. Ob dies wirklich von großer praktischer Bedeutung ist, mag dahingestellt bleiben. Meines Erachtens ist es jedoch von viel größerer Wichtigkeit, daß der schwere Boden zur Zeit der Verwendung des Ätzkalkes die richtige mechanische Beschaffenheit besitzt, um so eine gründliche Mischung des Kalkes mit dem Boden bewirken zu können. Hierauf wird in der Praxis häufig zu wenig Wert gelegt. Ein in großen Schollen abgebundener Acker gestattet eine innige Mischung des Kalkes mit dem Boden in den meisten Fällen nicht. Man begnügt sich dann häufig damit, daß der Kalk gestreut und, so gut es geht, untergebracht wird.

Über die Veränderungen, welche der gemahlene, gebrannte Kalk beim Aufbewahren erleidet, sind von Schulze[1]) Untersuchungen ausgeführt worden, die zu dem Ergebnis führten, daß die Umwandlung des gebrannten Kalkes in kohlensauren Kalk außerordentlich langsam vor sich geht. Sie kam selbst bei längerem Lagern an der Luft oder im Erdhaufen so gut wie nicht zur Geltung. Dagegen zog aber der gebrannte Kalk sehr begierig Wasser an, wodurch er in Kalkhydrat übergeführt wurde.

Die Anwendung des gebrannten Stückkalkes kann in der Weise erfolgen, daß derselbe schon einige Zeit vor Beginn der Anwendung am Rande der Felder in größere Haufen aufgeschichtet und mit so viel Wasser übergossen oder zweckmäßiger durchtränkt wird, daß ein völliges Ablöschen erfolgen kann, oder daß der Kalk in kleine Haufen (5 : 5 m Entfernung) direkt auf das Feld gebracht wird. Wenn die letztere Art zur Anwendung kommen soll, so ist es vorteilhaft, den Kalk beim Abladen in dazu bereit gehaltene Wasserfässer zu tauchen, damit ein sofortiges Ablöschen erfolgen kann. Der gebrannte Kalk nimmt zwar auch aus der Luft und dem Boden allmählich diejenige Wassermenge auf, welche er zur Umwandlung in Kalkhydrat gebraucht, doch erfolgt dieser Vorgang, namentlich bei trockenem Wetter, viel langsamer, wohingegen bei der ersten Behandlung schon das Streuen an demselben oder am nächstfolgenden Tage bereits geschehen kann. Herrscht konstantes Wetter, so wird es sich vielfach erübrigen, den bereits abgelöschten Kalk, wenn das Streuen schon am anderen Tage erfolgen soll, noch mit Boden zuzudecken, wohingegen bei unsicherem Wetter ein Bedecken mit Boden unbedingt zu empfehlen ist. Der in Stücken auf das Feld gebrachte, nicht abgelöschte Kalk ist infolge der

---

[1]) Das landw. Versuchswesen Preußens für das Jahr 1899. Landw. Jahrbücher 1902, Ergänzungsband.

viel längeren Lagerung im Haufen sorgfältig mit Erde zu bedecken. Es sind auch des öfteren die infolge der Volumvermehrung entstehenden Risse wieder sorgfältig zu schließen, um eine größere Kohlensäureaufnahme zu verhüten.

Der in großen Haufen am Rande des Feldes gelöschte Kalk bietet gegenüber dem auf dem Felde aufgebrachten den Vorteil, daß er mit der Düngerstreumaschine gestreut und dadurch besser verteilt werden kann als der aus kleinen Haufen mit dem Spaten gestreute. Wenn vielfach angenommen wird, daß mit Egge und Krümmer bei mangelhaftem Streuen dennoch eine gleichmäßige Verteilung möglich ist, so trifft dies nicht zu. Durch diese Geräte ist günstigenfalls wohl eine gute Mischung mit der obersten Bodenschicht erreichbar, nicht dagegen eine gleichmäßige Verteilung mangelhaft gestreuten Kalkes.

Daß eine erhebliche Kohlensäureaufnahme beim Lagern im Haufen bei guter Bedeckung mit Erde nicht stattfindet, geht aus den Untersuchungen von Kellner[1]) hervor. Der gelöschte Kalk wurde nach dem Erkalten in einem bedeckten Schuppen in einen halbkugelförmigen Haufen gesetzt und festgetreten. Nach vier und weiter nach je zwei Wochen wurde eine Untersuchung vorgenommen.

	Kalk %	Kohlensäure %	Ätzkalk in kohlensauren Kalk übergegangen %
Ursprünglich gelöschter Kalk	44,2	0,9	—
Nach 4 Wochen	44,9	1,3	1,4
„ 6 „	44,4	1,3	1,4
„ 8 „	43,5	1,9	1,4
„ 10 „	44,0	1,9	2,9
„ 12 „	43,8	1,7	2,5

Nach zehn- bis zwölfwöchentlicher Lagerung sind kaum 3 % des Ätzkalkes in kohlensauren Kalk übergegangen. Durch feste Lagerung im Haufen von geringer Oberfläche kann der gelöschte Kalk somit lange Zeit in ätzender Form erhalten werden.

5. Zu welcher Zeit ist der Kalk zweckmäfsig anzuwenden?

Bei der Anwendung des kohlensauren Kalkes auf leichten Sandböden ist besondere Vorsicht nicht geboten. Es kann dieselbe vom Herbst bis Frühjahr je nach der hierfür zur Verfügung stehenden Zeit geschehen. Zweckmäßig ist es aber auch hier, wenn die Anwendung erfolgt, wo der Boden keinen übermäßigen Feuchtigkeitsgehalt aufweist,

[1]) Sächs. landw. Zeitschrift 1898, 106.

so daß wenigstens ein gründliches Mischen mit der Egge und ein baldiges Einpflügen erfolgen kann. Dies gilt im besonderen auch für die besseren Mittelböden, für welche die Anwendung im Winter deswegen nicht in Frage kommen dürfte, weil ein gründliches Eggen und Krümmern wegen zu großen Feuchtigkeitsgehaltes des Bodens meistens nicht möglich ist. Nur bei der Anwendung des Scheideschlammes und anderer wasserhaltiger Abfallkalke wird im Winter das Auffahren in kleine Haufen zweckmäßig vorgenommen, damit durch die Einwirkung des Frostes eine gute Lockerung der teilweise kompakten Massen eintritt und dadurch auch eine bessere Verteilung im Frühjahr möglich ist.

Besondere Vorsicht ist nun bei der Anwendung des Ätzkalkes insofern geboten, als die Witterung einigermaßen günstig sein muß und der Boden auch keinen zu großen Feuchtigkeitsgehalt aufweisen darf. Daher nehme man auf den besseren Böden die Kalkung zu einer Zeit vor, während welcher keine anhaltenden Niederschläge zu erwarten sind und der Boden durch Egge, Krümmer und Pflug sich gut bearbeiten läßt. Erfolgt die Anwendung als gemahlener Ätzkalk oder trocken gelöschter Kalk, so ist man weniger von der Witterung abhängig, als wenn das Ablöschen in kleinen Haufen auf dem Felde erfolgen soll. Die wichtigste Maßregel für eine gute Wirkung des gebrannten Kalkes ist das Streuen, Mischen und Unterbringen in trockenem, pulverförmigen Zustande. Dem Verfasser sind zahlreiche Fälle bekannt, wo der gebrannte Kalk während des Spätwinters in kleine Haufen auf das Feld gefahren wurde und nach langem Lagern völlig in Kalkbrei übergegangen war, der sich überhaupt nicht mehr verteilen ließ. Die für eine Kalkung entstehenden Kosten können durch eine derartige verkehrte Maßregel als fortgeworfenes Geld angesehen werden. Der geeignetste Zeitpunkt für die Anwendung des Ätzkalkes dürfte im allgemeinen der Spätsommer oder frühe Herbst, also die ersten Wochen nach der Ernte sein. Von der Frühjahrskalkung sehe man möglichst ab, da kurz vor der Saat gegebene größere Ätzkalkmengen für manche Pflanzen nachteilig sind. Die Frühjahrskalkung ist auch aus dem Grunde nicht zu empfehlen, als schwere Böden im Frühjahr zweckmäßig nicht gepflügt werden und ein Unterbringen in mittlere Tiefen im allgemeinen zweckmäßig ist. Nur in solchen Fällen kann eine Frühjahrskalkung angezeigt sein, wo der Boden im Herbst infolge Trockenheit nicht eine solche Feinheit aufweist, welche ein gründliches Mischen des Kalkes mit dem Boden gestattet. Dies ist auf schweren Böden vielfach bei der Getreidestoppel der Fall. Man sehe bei einem großscholligen Zustande des Bodens von einer Kalkung ab, da der für schwere Böden in erster Linie ins Auge zu fassende Zweck, die Verbesserung der mechanischen Bodenbeschaffenheit,

hierdurch nicht erreicht wird. Eine mehr lockere Beschaffenheit zeigen vielfach die Hackfruchtschläge im Herbst, welche, wenn die Witterung günstig, bei Anwendung von trocken gelöschtem oder gemahlenem Ätzkalk am geeignetsten für eine Kalkung sind.

Nur für Wiesen und Weiden empfiehlt sich im allgemeinen die Kalkung im Spätherbst oder Winter, besonders wenn auch gebrannter Kalk mit zur Anwendung kommen soll.

6. Wie tief ist der Kalk unterzubringen?

Es ist im allgemeinen zweckmäßig, den Kalk nicht zu tief unterzubringen. Der Ätzkalk erfährt bei größeren Niederschlägen bald nach dem Unterbringen schon eine weitere Verbreitung. Baeßler[1]) hält im allgemeinen ein Unterbringen bis 10 cm Tiefe für das Zweckmäßigste. Man wird daher auch möglichst davon absehen, diejenigen Schläge zu kalken, welche auf 12—13 Zoll zu Rüben gepflügt werden sollen. In vielen Fällen kann aber auch eine direkte Untergrundkalkung zweckmäßig sein, wie Versuche von Petersen[2]) ergeben haben. Eine solche wird dann von Vorteil sein, wenn der Untergrund eine ausgesprochene saure Beschaffenheit zeigt, oder wenn Humusortstein im Untergrunde vorhanden und derselbe durch tiefes Rajolen aufgebrochen worden ist, oder bei sogenannten Knickablagerungen auf schweren Marschböden.

Für den sauren Hochmoorboden ist nach den Versuchen von Tacke[3]) eine Untergrundkalkung in den meisten Fällen von durchschlagendem Erfolge gewesen, besonders dann, wenn es notwendig war, eine stark verflachte Ackerkrume zu vertiefen. Bei flacher Krume dringen die Pflanzen nicht in den Moostorfuntergrund wegen Vorhandenseins zu großer Mengen von Humussäuren ein. Ohne Kalkung enthielt der gelockerte Untergrund in 20 cm starker Schicht nach einem Jahre noch eine Menge wasserlöslicher Humussäure, welche 180 kg konzentrierter Schwefelsäure entsprach. In dem Funkeschen Untergrundpfluge besitzt man nach Tacke ein Mittel, die Kalkung bis auf 40 cm Tiefe in den Untergrund zu bringen. Die Untergrundkalkung zeigte nach Versuchen von Tacke eine düngersparende Wirkung, indem sie eine bessere Ausnutzung der leicht löslichen Pflanzennährstoffe herbeiführte, die der Gefahr des Versickerns in tiefere, den Pflanzen unzugängliche

---

[1]) Ratschläge für Bezug und Anwendung von Kalk und Mergel. Arbeiten der Landwirtschaftskammer für die Provinz Pommern, Heft 1.

[2]) Jahresbericht für Agrikulturchemie 1905.

[3]) Das landw. Versuchswesen Preußens für das Jahr 1895 u. 1899. Landw. Jahrbücher, Ergänzungsbände.

Schichten des Untergrundes ausgesetzt sind, wie z. B. folgende Zahlen zeigen:

	Kleegras, frisch dz
Untergrund nicht gekalkt	60,7
Untergrund gekalkt	257,9

Dagegen wurde bei ausreichender Kalidüngung bei einem anderen Versuche geerntet:

	dz
Untergrund nicht gekalkt	172,5
Untergrund gekalkt	141,0

Bei unzureichender Kalidüngung war die Wirkung der Untergrundkalkung erheblich günstiger.

7. Zu welchen Früchten hat die Kalkdüngung am zweckmäßigsten zu erfolgen?

Die am dankbarsten für eine Kalkung sich zeigenden Früchte sind die Kleearten und die Hülsenfrüchte, ferner Rüben und Raps, während zu Getreide bei den geringeren Ansprüchen an den Kalkgehalt eine direkte Kalkwirkung oft nicht vorhanden ist. Man wende daher die Kalkung in erster Linie zu den kalkbedürftigsten Pflanzen an. Auch zu Lupinen kann eine direkte Kalkdüngung gegeben werden, da nach den Versuchen von Baeßler selbst stärkere Ätzkalkdüngungen von 30 dz pro Hektar bei gleichzeitiger Kainitdüngung ohne Nachteil vertragen wurden.

Frühjahrsdüngungen mit Ätzkalk, wenn sie überhaupt erfolgen sollen, vermeide man zu Zuckerrüben und Möhren, da dieselben verhältnismäßig empfindlich hiergegen sind. Bei der Kartoffel hat sich gezeigt, daß dieselbe weniger gegen Ätzkalk als gegen Mergel empfindlich ist, da letzterer vielfach die Schorfkrankheit begünstigt. Nach Versuchen von Baeßler[1]) tritt diese weniger im ersten, häufiger dagegen im zweiten bis vierten Jahre nach der Mergelung auf. Besonders wurde dieselbe bei der Verwendung von eisenschüssigen Wiesenkalken und mit Asche der Brennmaterialien vermengten Abfallkalken beobachtet. Daß der Ätzkalk die Schorfkrankeit begünstigt, ist von Baeßler bei den zahlreichen Versuchen nicht beobachtet worden. Bezüglich der Verwendung von Ätzkalk zu Kartoffeln wird von Baeßler vorgeschlagen, denselben als Kopfdünger zu geben und bei der Abeggung der Kartoffelfelder einzueggen und später durch Hacke und Häufelpflug flach unterzubringen. Ob dieses Verfahren für bindige Böden mit Vorteil zu

[1]) A. a. O.

verwenden ist, werden weitere Versuche ergeben müssen. Im allgemeinen dürfte aber wohl die Herbstkalkung vorzuziehen sein.

Sehr wohl kann die Kalkdüngung auch im Spätherbst auf Feldern gegeben werden, die mit Gründüngung bestanden sind. Voraussetzung ist hierbei aber, daß der Kalk mit der Maschine gestreut werden kann. Stark entwickelte Gründüngungsmassen, wie Erbsen, Bohnen, Lupinen, werden zuvor zweckmäßig niedergewalzt.

8. Welche Gesichtspunkte sind bei dem Bezug von Kalk und Mergel zu beachten?

Um eine möglichst gute Wirkung durch eine Kalkdüngung zu erzielen, ist neben einer guten Verteilung des Kalkes im Boden auch der Feinheitsgrad der verschiedenen kalkhaltigen Düngemittel von Bedeutung. Für den gebrannten Kalk kommt derselbe allerdings nicht in Frage, da durch die Umwandlung des gebrannten Kalkes in Kalkhydrat infolge der Wasseraufnahme ein Produkt von außerordentlicher Feinheit entsteht. Auch für die feinerdigen Wiesenkalke, die in trockener Form ein leicht zerreibbares Pulver darstellen, ist dieser Punkt nicht von wesentlicher Bedeutung. Dagegen sind nun die meisten übrigen, aus den verschiedenen Rohmaterialien hergestellten Kalkmergel nur durch eine gründliche Mahlung in den nötigen Feinheitsgrad überzuführen. Auch Baeßler weist auf den Feinheitsgrad der verschiedenen Mergelsorten besonders hin. Gute Handelsmergel sollen nach diesem Autor 75—80 % einer unter 1 mm liegenden Korngröße aufweisen. Dies trifft nach den von Baeßler ausgeführten Untersuchungen in der Mehrzahl der Fälle nur für die aus gedarrten Wiesenkalken hergestellten Mergel zu. Daß die gröberen Kalksteinstückchen keineswegs unter der Einwirkung des Frostes zerkleinert werden, geht aus weiteren Untersuchungen von Baeßler hervor. Es wurden abgesiebte, über 3 mm große Stücke mit Wasser durchtränkt und vier Monate während des Winters im Freien gelagert. Die Bestimmung des Zerkleinerungsgrades ergab nach dieser Zeit:

Korngröße über	3 mm	70,6 %
„ „	2 „	5,4 „
„ „	1 „	4,4 „
„ unter	1 „	19,6 „

Also nur ein Fünftel war unter dem Einfluß des Frostes in feinere Bestandteile übergegangen.

Es dürfte durchaus zeitgemäß sein, über den Feinheitsgrad der verschiedenen Kalkmergel gewisse Lieferungsnormen aufzustellen und die über eine gewisse Größe hinausgehenden Anteile entsprechend geringer

zu bewerten. Jedenfalls sollte außer der chemischen Untersuchung die Ermittlung der verschiedenen Korngrößen niemals unterbleiben.

Ein weiterer Punkt bezüglich des Bezuges von Kalk und Mergel ist die Forderung einer bestimmten Gehaltsgarantie. „Es sollte unbedingt dahin gestrebt werden, daß Handelskalke bzw. Mergel einzig und allein nach der in der Lieferung enthaltenen Menge Ätzkalk bzw. kohlensaurem Kalk zur Bewertung gelangen und bei festgestelltem Mindergehalt seitens der Lieferungswerke die volle Entschädigung geleistet werde.“ Diese Ausführungen von Baeßler[1]) mit dem Zusatze „Ätzmagnesia bzw. kohlensaurer Magnesia“ sind voll und ganz zu unterschreiben. Wie notwendig sich eine solche Vorsicht namentlich in bezug auf die Handelsmergel erweist, geht aus dem vielfach bedeutenden Untergehalte der untersuchten Mergel hervor. Auch der Handel nach Gesamtkalk ist insofern nicht zutreffend, als damit auch der in Form anderer Kalkverbindungen enthaltene Kalk eingeschlossen ist. Nach den Beschlüssen des Verbandes landwirtschaftlicher Versuchsstationen im Deutschen Reiche ist in den Düngekalken nur der Gehalt an Kalk und Magnesia in basischer Form, oder an Kohlensäure gebunden, wertbestimmend. Ob dies allerdings auch für manche Abfallkalke, wie z. B. den Bernburger Düngekalk, der einen größeren Gehalt an kieselsaurem Kalk aufweist, zutrifft, bedarf noch der weiteren Untersuchung.

Anhang.

Frachttarife für Düngekalke.

Um genaue Kalkulationen über die Kosten einer Kalk- und Mergeldüngung bei verschiedenen Bezugsquellen machen zu können, mögen im nachstehenden noch die Frachtsätze für die hauptsächlichsten Düngekalke, welche der Baeßlerschen Schrift „Ratschläge für Bezug und Anwendung von Kalk und Mergel“ entnommen sind, angeführt werden.

1. Ausnahmetarif Nr. 4 für Ätzkalk, gebrannt und gemahlen, Graukalk (Dolomit), Gips, Kreide, Kalksteinmehl.

In dem Frachtbrief ist die Zweckbestimmung als Düngematerial durch den Vermerk: „Düngekalk zur Verwendung als Düngemittel im Inlande“, anzugeben, worauf die Berechnung der Frachtkosten nach folgenden Sätzen erfolgt. (Siehe Tabelle V.)

2. Ausnahmetarif Nr. 4a und 4b für Kalkmergel und ungemahlene Abfallkalke (Kalkasche).

---

[1]) A. a. O. S. 31.

Tabelle V.

Ausnahmetarif Nr. 4 für Ätzkalk, gebrannt und gemahlen, Graukalk (Dolomit), Gips, Kreide, Kalksteinmehl.

Frachtsätze für 100 Kilogramm in Mark.

Auf eine Entfernung von km	Frachtsatz	Auf eine Entfernung von km	Frachtsatz	Auf eine Entfernung von km	Frachtsatz	Auf eine Entfernung von km	Frachtsatz	Auf eine Entfernung von km	Frachtsatz	Auf eine Entfernung von km	Frachtsatz
51—53	0,22	161—167	0,38	275—282	0,54	390—396	0,70	504—510	0,86	618—624	1,02
54—60	0,23	168—174	0,39	283—289	0,55	397—403	0,71	511—517	0,87	625—632	1,03
61—67	0,24	175—182	0,40	290—296	0,56	404—410	0,72	518—524	0,88	633—639	1,04
68—74	0,25	183—189	0,41	297—303	0,57	411—417	0,73	525—532	0,89	640—646	1,05
75—82	0,26	190—196	0,42	304—310	0,58	418—424	0,74	533—539	0,90	647—653	1,06
83—89	0,27	197—203	0,43	311—317	0,59	425—432	0,75	540—546	0,91	654—660	1,07
90—96	0,28	204—210	0,44	318—324	0,60	433—439	0,76	547—553	0.92	661—667	1,08
97—103	0,29	211—217	0,45	325—332	0,61	440—446	0,77	554—560	0,93	668—674	1,09
104—110	0,30	218—224	0,46	333—339	0,62	447—453	0,78	561—567	0,94	675—682	1,10
111—117	0,31	225—232	0,47	340—346	0,63	454—460	0,79	568—574	0,95	683—689	1,11
118—124	0,32	233—239	0,48	347—353	0,64	461—467	0,80	575—582	0,96	690—696	1,12
125—132	0,33	240—246	0,49	354—360	0,65	468—474	0,81	583—589	0,97	697—703	1,13
133—139	0,34	247—253	0,50	361—367	0,66	475—482	0,82	590—596	0,98		
140—146	0,35	254—260	0,51	368—374	0,67	483—489	0,83	597—603	0,99		
147—153	0,36	261—267	0,52	375—382	0,68	490—496	0,84	604—610	1,00		
154—160	0,37	268—274	0,53	383—389	0,69	497—503	0,85	611—617	1,01		

Tabelle VI.

Ausnahmetarif Nr. 4a und 4b für Kalkmergel und ungemahlene Abfallkalke (Kalkasche).

Frachtsätze für 100 Kilogramm in Mark.

Auf eine Entfernung von km	Frachtsatz	Auf eine Entfernung von km	Frachtsatz	Auf eine Entfernung von km	Frachtsatz	Auf eine Entfernung von km	Frachtsatz	Auf eine Entfernung von km	Frachtsatz	Auf eine Entfernung von km	Frachtsatz
49—52	0,18	185—194	0,33	297—303	0,48	404—410	0,63	511—517	0,78	618—624	0,93
53—56	0,19	195—203	0,34	304—310	0,49	411—417	0,64	518—524	0,79	625—632	0,94
57—61	0,20	204—210	0,35	311—317	0,50	418—424	0,65	525—532	0,80	633—639	0,95
62—74	0,21	211—217	0,36	318—324	0,51	425—432	0,66	533—539	0,81	640—646	0,96
75—84	0,22	218—224	0,37	325—332	0.52	433—439	0,67	540—546	0,82	647—653	0,97
85—94	0,23	225—232	0,38	333—339	0,53	440—446	0,68	547—553	0,83	654—660	0,98
95—104	0,24	233—239	0,39	340—346	0,54	447—453	0,69	554—560	0,84	661—667	0,99
105—114	0,25	240—246	0,40	347—353	0,55	454—460	0,70	561—567	0,85	668—674	1,00
115—124	0,26	247—253	0,41	354—360	0,56	461—467	0,71	568—574	0,86	675—682	1,01
125—134	0,27	254—260	0,42	361—367	0,57	468—474	0,72	575—582	0,87	683—689	1,02
135—144	0,28	261—267	0,43	368—374	0,58	475—482	0,73	583—589	0,88	690—696	1,03
145—154	0,29	268—274	0,44	375—382	0,59	483—489	0,74	590—596	0,89	697—703	1,04
155—164	0,30	275—282	0,45	383—389	0,60	490—496	0,75	597—603	0,90		
165—174	0,31	283—289	0,46	390—396	0,61	497—503	0,76	604—610	0,91		
175—184	0,32	290—296	0,47	397—403	0,62	504—510	0,77	611—617	0,92		

Dieser Tarif (siehe Tabelle VI) gilt für den nachweislich zum Düngen bestimmten Kalkmergel. Der Ausnahmetarif findet Anwendung bei Aufgabe von mindestens 10 000 kg mit einem Frachtbrief auf einen Waggon. Die Gewährung der Ausnahmetarifsätze erfolgt:

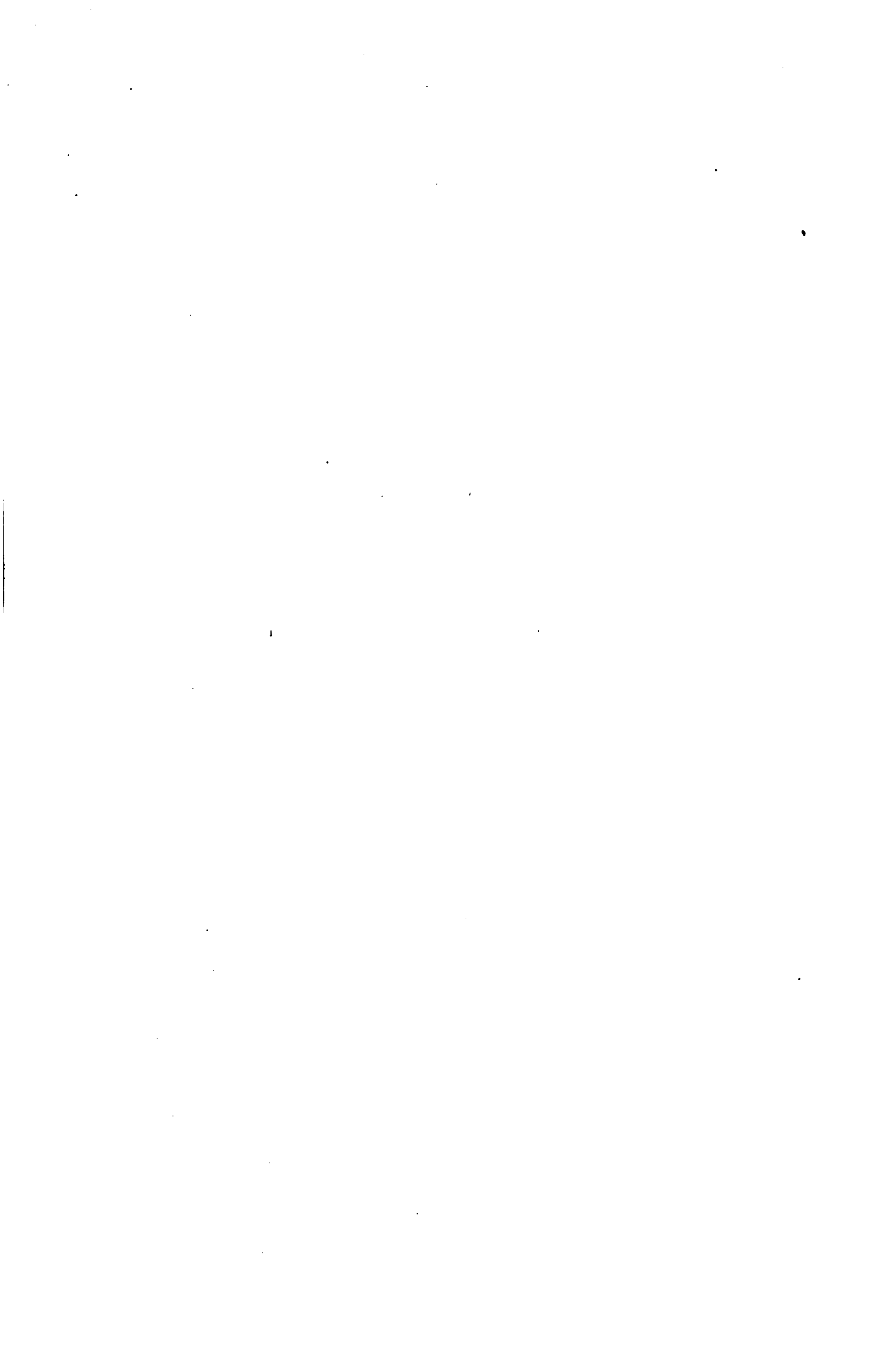
a) entweder sogleich bei der Beförderung, wenn bei der Aufgabe oder Abnahme der Sendungen durch eine den Güterabfertigungsstellen zu übergebende Bescheinigung einer öffentlichen Behörde der Nachweis geführt wird, daß der Mergel zum Düngen Verwendung finden soll, was in den Frachtbriefen anzugeben ist. Hierbei bleibt vorbehalten, im einzelnen Falle den Nachweis der tatsächlich erfolgten Verwendung zu fordern;

b) oder nachträglich, wenn durch die Bescheinigung einer öffentlichen Behörde der vorbezeichnete Verwendungszweck später in der unten bezeichneten Frist nachgewiesen wird.

Anträge auf nachträgliche Berechnung des Ausnahmetarifs müssen sämtliche Sendungen mindestens je eines vollen Kalendermonats umfassen und sind längstens binnen drei Monaten nach stattgehabter Versendung bei der Verwaltung der Empfangsstation anzubringen. Den Anträgen sind die bezüglichen Originalfrachtbriefe oder die Bescheinigung der öffentlichen Behörde beizufügen. Der unter a und b vorgeschriebenen Nachweise bedarf es nur bei Sendungen auf Entfernungen von über 65 Kilometer.

Für die Tarife 4, 4a und 4b kommen nach Verfügung der Kgl. Staatsregierung beim Bezug voller Wagenladungen noch 20 % in Abzug (Notstandstarif gültig bis 30. April 1912).

Piererſche Hofbuchdruckerei Stephan Geibel & Co. in Altenburg.




S643
M4
254339
Meyer

